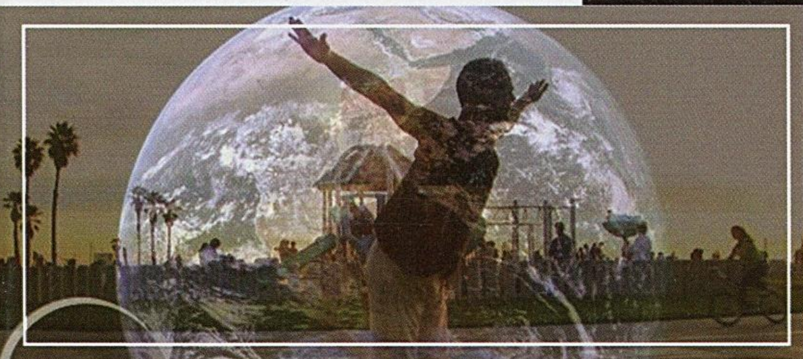
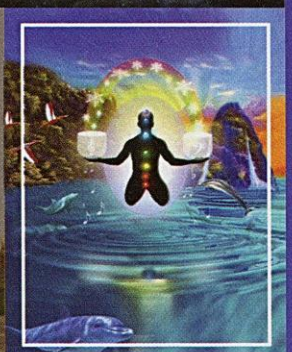
وزارة الثقافة
الهيئة العامة السورية للكتاب

الجائزة الكونية الكبرى

لماذا الكون مناسب للحياة؟









تأليف: بول ديفيز
ترجمة: د. سعد الدين خرفان

الجائزة الكونية الكبرى

تصميم الغلاف

عبد العزيز محمد

الجائزة الكونية الكبرى

لماذا الكون مناسب للحياة؟

تأليف : بـول ديفيـز

ترجمة: د. سعد الدين خرفان

منشورات الهيئة العامة السورية للكتاب

وزارة الثقافة - دمشق ٢٠١١

العنوان الأصلي للكتاب:

Cosmic Jackpot

Why our universe is just right for life

Paul Davies

الجائزة الكونية الكبرى : لماذا الكون مناسب للحياة / تأليف بول ديفيز؛ ترجمة سعد الدين خرفان .- دمشق: الهيئة العامة السورية للكتاب، ٢٠١٠.- ٣٧٦ ص؛ ٢٤ سم.

١- ٥٢٣,١ د ي ف ج ٢- العنوان ٣- ديفيز
٤- خرفان

مكتبة الأسد

مقدمة وكلمات شكر

عندما كنت أحضّر رسالة الدكتوراه في كلية لندن الجامعية في الستينات، أعطاني المشرف العلمي ورقة تقنية غريبة لقراءتها «كوسيلة تسلية بسيطة» عن مشروعي الرئيس. كانت الورقة التي لم تنشر أبداً بالصيغة التي قرأتها بها، مبنيّة على محاضرة ألقيت في الولايات المتحدة من قبل عالم الكون وعالم الفيزياء النظرية البريطاني براندون كارتر Brandon Carter. لقد كان موضوعها غريباً وثورياً في الوقت نفسه. إن موضوع عالم الفيزياء النظرية عادة، هو تحري مشكلة عويصة حول ظاهرة طبيعية عن طريق تطبيق قوانين الفيزياء على شكل علاقات رياضية، ثم محاولة حلها لمعرفة كيف تصف الواقع. لكن كارتر كان يعالج نوعاً آخر مختلفاً تماماً من المسائل يتعلق بأشكال القوانين ذاتها. لقد سأل نفسه السؤال التالي «افترض أن القوانين كانت مختلفة قليلا من ناحية أو أخرى عما هي عليه في الواقع، ماذا ستكون النتائج؟». يدعو الفلاسفة هذا النوع من البحث ب **التحليل المعاكس للحقيقة**. وعلى الرغم من أن كِتّاب الروايات كانوا دائماً مولعين بهذه الطريقة (قرأت مؤخراً رواية هزم فيها النازيون بريطانيا في الحرب العالمية الثانية وأصبحت بريطانيا بنتيجتها دولة تابعة لألمانيا) إلا أنها كانت مهمة رائدة بالنسبة إلى عالم. إن محور تحليل كارتر (ماذا لو؟) كان مرة أخرى غير عادي لعالم فيزياء نظرية. فهو يهتم بوجود الحياة. وعلى الأخص تقترح حسابات كارتر، بأنه لو اختلفت القوانين ولو بشكل بسيط عما هي عليه لما كانت الحياة ممكنة ولمرّ الكون دون أن يلحظ. والحقيقة – كما قال كارتر– فإن وجودنا يتوقف على مقدار معين من «التناغم الجيد» بين القوانين. ومثل

معامل غولديلوك Goldilock بدت قوانين الفيزياء لكارتر«ملائمة بالضبط» للحياة. لقد بدت كأنها عملية مختلقة – ومختلقة بشكل كبير. وربما بدون حكمة دعا كارتر هذا التناغم الجيد ب «المبدأ الإنساني Anthropic principle» معطياً الانطباع الخاطئ بأن هذا الأمر خاص بالإنسان فقط (في حين أن قصده لم يكن كذلك على الإطلاق).

وبالرغم من أن ورقة كارتر كانت متواضعة في محتواها وحذرة في استنتاجاتها إلا أنها أطلقت ليس أقل من ثورة في الفكر العلمي وأشعلت فتيل نقاش ساخن شغل المجتمع العلمي منذ ذلك الحين. وقام بدراسة **التحليل المعاكس للحقيقة** في الفيزياء والكون في السبعينات كل من مارتين ريز Martin Rees وبرنارد كار Bernard carr اللذين نشرا بحثاً مرجعياً مميزاً عام ١٩٧٩. ومن وحي هذا البحث قمت بتأليف كتيب في هذا الموضوع تحت عنوان **الكون الصدفة** الذي نشر من قبل دار جامعة كامبردج للنشر عام ١٩٨٢. وبعد عدة أعوام ظهر كتاب أكثر عمقاً وأصدق نهجاً بعنوان **المبدأ الإنساني الكوني** لجون بارو John Barrow وفرانك تبلرFrank Tipler . لقد شكّل هذا الكتاب نقطة البداية لمئات النشرات العلمية التي نشرت خلال السنين الماضية.

في أوائل الثمانينات رفض عدد من العلماء **المبدأ الإنساني** على أنه هراء شبه ديني. فقد صنف الرياضي والكاتب مارتن غاردنر Martin Gardner في مقالة صغيرة له في ركن مراجعة الكتب في مجلة نيويورك تايمز عام ١٩٨٦، النسخ المختلفة المقترحة للمبدأ الإنساني AP ب الضعيف WAP والقوي SAP والتشاركي PAP والنهائي FAP، وكانت نسخته المفضلة «**المبدأ الإنساني الأحمق** CRAP». لقد عبّر هذا عن طبيعة النقاش الذي ساد لحوالي عقد من الزمان. لكن التطورات في حقل فيزياء الجسيمات ذات الطاقة العالية وفي علم الكون، خاصة في دراسة الانفجار الكبير الحار الذي ولّد الكون، غيرت ببطء هذا الشّعور. وبدأت قوانين الفيزياء التي اعتبرت

فيما مضى منقوشة على ألواح حجرية تبدو أقل شمولية وإطلاقية. وتراكمت البراهين على أن بعض القوانين على الأقل ليست صحيحة ومطلقة ولكنها «قوانين فعالة» يطبّق شكلها الشائع عند **طاقات منخفضة** فقط مقارنة بالطاقة العنيفة للانفجار الكبير. وبصورة هامة اقترح التحليل النظري أن بعض ملامح القوانين قد تكون عرضية عاكسة بذلك غرائب الطريقة التي تبرّدت فيها منطقتنا من الكون منذ الانفجار الكبير. وبالطبع يقودنا هذا التحليل إلى أن شكل هذه القوانين عند طاقات منخفضة كان من الممكن أن يكون مختلفاً عما هو عليه، وربما هو مختلف حقاً في مناطق أخرى من الكون. ولذا بدأ ما كنا نسميه «الكون» يشبه «أكواناً» وهي مجموعة عجيبة من البيئات بخصائص متغايرة وقوانين فيزيائية مختلفة. وكما عبر ليونارد سوسكيند Leonard Susskind عالم الفيزياء النظرية وعالم الكون في جامعة ستانفورد ومن المدافعين الرئيسين عن فكرة «الأكوان المتعددة» فليس من المستغرب أن نجد أنفسنا نعيش في منطقة ملائمة للحياة، لأنه من الواضح أنه لا يمكننا أن نكون موجودين في منطقة تستحيل فيها الحياة.

وعند هذه المرحلة بدأ الملاحدة يهتمون بالأمر. وبما أنهم لم يكونوا سعيدين لأن التناغم الجيد في قوانين الفيزياء اقترح نوعاً من التصميم الإلهي، فقد تمسكوا بنظرية «الأكوان المتعددة» كتفسير أنيق لظاهرة تلاؤم كوننا العفوي للحياة. ولذا أصبح ينظر إلى المبدأ الإنساني بشكل محير على أنه بديل علمي لنظرية التصميم الإلهي وعلى أنه نظرية شبه - دينية في الوقت نفسه. وقد خضت هذه المعمعة عام ٢٠٠٣ مقنعاً مؤسسة جون تمبلتون John Templeton أن تدعم حلقة دراسية حول الكونية المتعددة في جامعة ستانفورد والتي اشتركت بترؤسها مع عالم الكون أندري لندي Andrei Linde ونشرت مداولاتنا في مؤلف حرره برنارد كار. وعقدت حلقة دراسية لاحقة بتأكيد أكبر على نظرية الأوتار String Theory (وهي المحاولة السائدة حالياً لتوحيد الفيزياء) عام ٢٠٠٥.

ومع حدوث هذه التطورات النظرية تحقق تقدم مدهش في حقل الكون المرصود. وقد تم هذا من مسوح أكثر دقة للكون من قبل تلسكوب هوبل Hubble الفضائي ومن أجهزة أرضية أخرى، ومن المسح المفصل للوميض الكوني الذي تلا الانفجار الكبير بواسطة القمر الصناعي WMAP ومن الاكتشاف غير المتوقع بأن الكون يتسارع تحت تأثير «طاقة معتمة» غامضة. ونتيجة لهذا أصبح علم الكون الذي بقي ثانوياً لزمن طويل علماً رئيساً بتخمر أفكار جديدة أكثرها غريب ومعاكس للبداهة. ويبدو أننا ندخل الآن حقبة جديدة تغير نظرتنا للكون ولموقع الجنس البشري فيه.

سأشرح في هذا الكتاب الأفكار التي تقوم عليها هذه التطورات الكبيرة المؤثرة مركزاً بصورة خاصة على «معامل غولديلوك» – وهي ملاءمة الكون للحياة[1]. سوف أطرح في الفصول الأولى المبادئ الأساس للفيزياء الحديثة وعلم الكون ثم أصف نظرية الأكوان المتعددة والحجج المؤيدة والمعاكسة لها. ونحو نهاية الكتاب سألقي نظرة ناقدة على ردود الأفعال المختلفة لقضية التناغم الجيد. وسوف أسأل أيضاً إذا كان العلماء حقاً على وشك إنتاج نظرية كل شيء (وهي التفسير الكامل والضمني للكون المادي بكامله) أم أنه سيبقى هناك دوماً سر ما في قلب هذا الوجود.

لقد استلهمت هذه الفصول الأخيرة من عالم الفيزياء النظرية الكبير جون آرشيبالد ويلر John Archibald Wheeler الذي كرست له هذا الكتاب. كان أول مرة علمت فيها بعمل ويلر عندما كنت طالباً، ثم تعرفت عليه جيداً في السنوات اللاحقة على المستويين الشخصي والمهني. وقد زرته في أوستن في ولاية تكساس وزارني في انكلترا في عدة مناسبات. وقد صادق بلطف على كتابي الأول «**فيزياء لا تناظرية الزمن**» بثناء متحمس واهتم كثيراً بعملي خلال هذه العقود. كان لي شرف المساعدة في تنظيم مؤتمر بمناسبة

---

(١) معامل غوليلوك : مستقى من قصة غولديلوك والدببة الثلاثة للأطفال . وفيها يتم الاختيار الملائم تماماً من بدائل عدة غير ملائمة.

عيد ميلاده التسعين في آذار ٢٠٠٢ والذي جمع علماء متميزين من برنستون ونيوجرسي حيث بدأ ويلر حياته المهنية وأنهاها هناك.

عمل ويلر مع الأسطورة نيلز بور Niels Bohr في نهاية الثلاثينات على نواح رئيسة من الانشطار النووي. ثم استمر ليعمل في إعادة ولادة نظرية الثقالة في الخمسينات حيث بدأ من حيث توصل إليه آينشتاين Einstein. وكان ويلر أول من صاغ عبارة الثقب الأسود والثقب الدودي. وفوق هذا كله أدرك الحاجة إلى التوفيق بين ركني الفيزياء التوأم في القرن العشرين وهما نظرية النسبية العامة ونظرية الميكانيك الكمومي في نظرية واحدة من الثقالة الكمومية. وقد حصل معظم الخريجين من طلابه على وظائف علمية متميزة. وكان ريتشارد فينمان Richard Feynman المعروف جيداً والحاصل على جائزة نوبل أحدهم.

كان أسلوب ويلر متميزاً، فقد كان سيد «تجربة الفكرة» حيث يأخذ فكرة مقبولة ثم يمدّها إلى حدودها القصوى ليرى إن كانت ستنهار ومتى يتم ذلك. كان يحب التركيز على الأسئلة الكبيرة حقاً: هل يمكن توحيد الفيزياء؟ هل من الممكن اشتقاق المكان والزمان من شيء أكثر أساسية؟ هل يمكن للسببية أن تعمل بعكس الزمن؟ وهل يمكن إرجاع قوانين الفيزياء المعقدة والمجردة إلى عبارة وحيدة بسيطة وواضحة؟ وكيف يمكن للراصدين أن ينسجموا ضمن هذا النظام؟ لم يكن ويلر مقتنعاً بتطبيق قوانين الميكانيك الكمومي فقط بل كان يريد معرفة من أين أتت. لقد سأل «من أين أتت الكمومية؟» لم يكن مسروراً بالانفصال بين مبادئ المادة والمعلومات فقد اقترح فكرة «هي من حرف it From bit» – وهي ظهور الجسيمات من حروف معلوماتية. وكان الأكثر طموحاً سؤاله «كيف حدث الوجود؟» وهو محاولة لشرح كل شيء دون اللجوء لبعض الأسس الثابتة للحقيقة الفيزيائية التي يجب القبول بها على أنها «معطاة».

لقد سألت ويلر مرة ما الذي تعتبره أعظم إنجازاتك؟ وأجابني «التغير». لقد عنى بهذا أنه لاشيء مطلق ولاشيء أساسي جداً بحيث لا يمكن أن يتغير تحت ظروف قصوى ملائمة – ويشمل هذا قوانين الكون ذاتها. وقد قادته هذه الأفكار جميعها إلى اقتراح «الكون التشاركي» وهي فكرة (أو كما يفضل ويلر أن يقول «فكرة لفكرة») أثبتت أنها جزء هام من النقاش حول الكون المتعدد /الإنساني. لقد مثّل ويلر بمعتقداته و آرائه قطاعاً واسعاً من المجتمع العلمي: ملتزم كلية بالمنهج العلمي في البحث وغير خائف من معالجة الأسئلة الفلسفية العميقة وغير متدين على الطريقة التقليدية ولكنه ملهم باحترام عميق للطبيعة وبإحساس قوي بأن الجنس البشري جزء من مخطط عظيم لا نلحظ إلا جزءاً منه وجرأة كافية لإتباع قوانين الفيزياء إلى حيث تقوده ولكنه ليس مغروراً إلى الدرجة التي يفكر فيها أنه يمتلك الجواب على كلها الأسئلة.

لقد حاولت في هذا الكتاب أن أحافظ على مستوى غير تقني من التفسير قدر ما أستطيع بتجنب التعابير الغامضة والأوصاف المثيرة غير الضرورية وأبقيت المعادلات في الحد الأدنى الممكن. واستخدمت في بعض الأماكن الصناديق لتلخيص بعض المواضيع المعقدة أو للتوسع فيها. ومن بعض الوجوه فإن هذا الكتاب يتبع كتابي السابق **عقل الإله**. وبالرغم من التأكيد على الأمور العميقة وذات المعنى فقد قصدت منه أن يصلح أيضاً كمقدمة مباشرة إلى علم الكون الحديث والفيزياء الأساسية. وقد ميزت بوضوح بين الحقائق الراسخة والتنظير المعقول والتنبؤ الجامح. **إن الغرض الرئيس من هذا الكتاب هو جذب التفكير والبحث العلمي إلى معالجة الأسئلة الكبرى المتعلقة بالوجود**. ولم أحاول اعتبار حالات أخرى من الاكتشاف مثل اللاهوت والتنوير الروحي أو الإلهام من خلال التجربة الدينية.

لقد ساعدني الكثيرون في هذا المشروع. وأولهم وأبرزهم زوجتي باولين التي كانت لها وجهة نظر لا تلين تجاه التفكير المنحرف أو

الافتراضات غير المعقولة وعناية فائقة بالتفاصيل. لقد قرأت المخطوط بتفهم عميق متوقفة عند عدد من التفاسير المشوشة ومنبهة إلى ميلي الطائش نحو التفلسف المبالغ فيه. واشتكت أيضاً من أن الكتاب توقف عند النقطة التي بدأ يصبح فيها ممتعاً. لقد أغنى وجود ناقد صارم بالقرب مني هذا الكتاب كثيراً. وكان وكيلي الأدبي جون بروكمان القوة الدافعة وراء هذا المشروع بإدراكه أن علم الكون يقف على مفترق طرق، وأن جمهور القراء مشوشون بسبب هذا الفيض من الاكتشافات والنظريات الجديدة. ولقد استفدت كثيراً من المشاركين في ورشتي العمل في ستانفورد وعلى الأخص من أندريه لند. وأنا ممتن **لمؤسسة جون تيمبلتون** لجعل هذه المناسبات ممكنة. وخلال السنوات السابقة كان للعديد من الناس تأثيرهم في تفكيري من خلال الاتصال الشخصي بهم ومناقشتهم ومن خلال كتاباتهم أيضاً. ويشمل هؤلاء نانسي أبرامز وجون بارو وبرنارد كار وبراندون كارتر وديفيد دويتش ومايكل داف وجورج إيليس وديفيد كروس وجون ليزلي وتشارلس لينويفر وجون بريماك ومارتن ريز وفرانك تيبلر وبالطبع جون ويلر. وأود أيضاً أن أشكر كريس فوربس لتعليقاته على جزء من المخطوط وجون ودروف على عنايته الدقيقة بتحريره.



الفصل الأول

الأسئلة الكبيرة

مواجهة سر الوجود

بقي الإنسان لآلاف السنين يتأمل العالم المحيط به ويطرح الأسئلة الكبيرة حول الوجود. لماذا نحن هنا؟ كيف بدأ الكون؟ وكيف سينتهي؟ كيف ركّب الكون؟ لماذا هو على هذا الشكل؟ لقد بحث الإنسان خلال تاريخه المدوّن عن أجوبة لمثل هذه الأسئلة (النهائية) في الدين والفلسفة أو صرح بأنها خارج مجال الإدراك البشري تماماً. ومع ذلك فالعديد من هذه الأسئلة هو اليوم جزء من العلم ويزعم بعض العلماء أنهم على وشك تقديم الأجوبة عليها.

لقد زاد تطوران رئيسان من ثقة العلماء بأن الأجوبة أصبحت في متناول أيديهم. الأول هو التقدّم الهائل في علم الكون – دراسة البنية الضخمة للكون وتطوره. لقد اتّحدت الملاحظات باستخدام الأقمار الصناعية وتلسكوب هوبل الفضائي والأجهزة المتطورة على الأرض لتغيّر رأينا في الكون وموقع الإنسان فيه. والثاني هو الفهم المتزايد للعالم المجهري ضمن الذرة – وهو الموضوع الذي يدعى فيزياء الجسيمات عالية الطاقة. وتجرى غالباً بمسرّعات ضخمة للجسيمات (كانت تدعى فيما قبل «محطّمات الذرة») من النوع الذي يوجد في مختبر فيرمي بالقرب من شيكاغو ومختبر سيرن خارج

جنيف. إن الجمع بين هذين الموضوعين - علم الأجسام الضخمة جداً وعلم الجسيمات الصغيرة جداً - يقدّم أدلّة مدهشة على أن هناك روابط عميقة غير معروفة سابقاً تربط العالم الصغري بالعالم الكبري. ويولع علماء الكون بالقول إن الانفجار الكبير الذي ولّد الكون منذ بلايين السنين كان أكبر تجربة في فيزياء الجسيمات. وتشير هذه التطورات المدهشة إلى تفاعل أكبر بكثير: فهي ليست أقل من وصف شامل ووحيد للطبيعة وهي «نظرية كل شيء» نهائية تشتمل على وصف متكامل للعالم الفيزيائي كله ضمن نظام تفسيري وحيد.

الكون صديق للحياة

لأن أحد أهم الحقائق - وبالمناقشة أهم حقيقة - حول الكون هي أننا جزء منه. ويجب أن أقول منذ البداية إن عدداً كبيراً من العلماء والفلاسفة يختلفون بشدة مع هذا التصريح حيث أنهم لا يعتقدون أن **الحياة أو الوعي** مهمان ولو من بعيد في التنظيم الكوني العظيم للأشياء. ولكن موقفي الشخصي مع ذلك هو أن أعتبر أن الحياة والعقل (أي الوعي) أمران مهمان لأسباب سوف أشرحها في الوقت المناسب. وللوهلة الأولى تبدو الحياة غير مهمة بالنسبة لعلم الكون. وبالتأكيد فقد عدّل سطح الأرض بالحياة عليه ولكن في الامتداد العظيم للكون فإن كوكبنا ليس سوى نقطة متناهية الصغر. ومع ذلك فهناك شعور غير مباشر بأن وجود الحياة في الكون يمثّل حقيقة كونية هامة. ومن أجل أن تظهر الحياة وتتطوّر بعد ذلك إلى أحياء واعية مثلنا يجب تحقيق شروط معينة. إن بين المتطلبات العديدة المسبقة للحياة - أو على الأقل للحياة كما نعرفها - توفّر إمداد جيّد بالعناصر الكيميائية المختلفة الضرورية لتخليق الكتلة الحية. إنّ الكربون هو العنصر الرئيس للحياة ولكن الأكسجين والهيدروجين والنتروجين والكبريت والفسفور ضرورية أيضاً. إن الماء السائل عنصر آخر ضروري للحياة. وتتطلّب الحياة أيضاً مصدراً للطاقة وبيئة مستقرة قدّمتهما في عالمنا الشمس. ومن أجل أن تتطوّر الحياة من المستوى المجهري البسيط فإن على هذه البيئة المشجعة للحياة أن تبقى

للحياة أن تبقى ملائمة لذلك لزمن طويل جداً فقد استغرقت الحياة على الأرض بلايين السنين لتصل إلى مرحلة الذكاء.

وعلى المستوى الأكبر يجب أن يكون الكون قديماً وبارداً بما يكفي ليسمح للكيمياء المعقدة بالعمل. ويجب أن يكون منظّماً بما يكفي ليسمح بالتشكّل غير المعاق للمجرات والنجوم. ويجب أن يوجد النوع المناسب من القوى التي تعمل بين جسيمات المادة لتصنع الذرات المستقرة والجزيئات المعقدة والكواكب والنجوم. ولو أن أية خاصة أساسية للكون – من خصائص الذرات إلى توزّع المجرات – اختلفت لكان من المحتمل جداً أن تصبح الحياة مستحيلة[1]. الآن، يبدو أنه لتلبية تلك المتطلبات المختلفة، يجب تحقيق بعض الشروط الصارمة في قوانين الفيزياء الرئيسة التي تنظّم الكون، وهي قوانين صارمة جداً، بحيث يبدو الكون الصديق للحياة مختلقاً – أو«مهمة مختلقة» – بحسب الوصف الدقيق لعالم الكون البريطاني الراحل فرد هويل Fred Hoyle. لقد بدا لهويل كأن عقلاً فائقاً كان «يلعب» بقوانين الفيزياء[2]. وكان محقاً في انطباعه. ففي الظاهر يبدو الكون وكأنه صمّم من قبل خالق عاقل بوضوح لنشر مخلوقات عاقلة. ومثل الحساء في قصة **غولديلوك والدببة الثلاثة** يبدو الكون «ملائماً بالضبط» للحياة، بطرق معقدة عديدة. ولا يعتبر أي تفسير علمي للكون كاملاً، إذا لم يأخذ باعتباره هذا المظهر من التصميم المحكم.

وحتى عهد قريب، أهمل «عامل غولديلوك» بالكامل تقريباً من قبل العلماء. لكن هذا يتغير الآن بسرعة. فكما سأناقش في الفصول القادمة، بدأ العلم أخيراً يدرك سرّ تلاؤم الكون بشكل عفوي للحياة. ويقتضي التفسير فهم كيف بدأ الكون، وكيف تطور إلى شكله الحالي، ومعرفة من أي شيء صنعت المادة، وكيف تشكّلت وتكوّنت من قوى الطبيعة المختلفة. وفوق كل هذا فإنه يتطلّب منا أن نتفحّص الطبيعة الأساسية لقوانين الفيزياء.

شيفرة الكون

خلال التاريخ، اقتنع مفكرون مشهورون بأن العالم اليومي الذي تلحظه حواسنا، يمثّل الشكل الظاهري فقط لحقيقة مخبّأة أكثر عمقاً، حيث يجب البحث عن الأجوبة على الأسئلة الكبيرة حول الوجود. لقد كان هذا الاعتقاد قويّاً جداً بحيث تمحورت مجتمعات بكاملها حوله. لقد أجرى الباحثون عن الحقيقة، طقوساً وتعاويذ معقّدة، واستخدموا العقاقير والتأمّل، للدخول في حالات العرفان، واستشاروا السحرة والروحانيين ورجال الدين في محاولتهم رفع الحجاب عن عالم غامض يقع وراء العالم الذي ندركه. إن كلمة الكشف بالسحر تعني أصلاً «معرفة الحقيقة المخبأة»، وقد كان البحث عن منفذ يوصل إلى حقل الحقيقة المخبّأة بالسحر مهمة رئيسة للثقافات جميعها، من أحلام سكّان استراليا الأصليين إلى قصة آدم وحواء، اللذين تذوّقا الثمرة المحرّمة من شجرة المعرفة.

ولم يقدّم اكتشاف النقاش المعقول والمنطق شيئاً لطرد الفكرة المقلقة حول الحقيقة المخبأة. لقد قارن الفيلسوف اليوناني القديم أفلاطون عالم الظواهر، بشبح يلوح على حائط كهف. واقتنع أتباع فيثاغورث بأن الأعداد تمتلك قيمة سحرية. ويمتلئ الإنجيل بعلم العدد مثل الظهور المتكرر للعددين ٧ و٤٠ أو ارتباط العدد ٦٦٦ بإبليس. وقادت قوة الأعداد إلى الاعتقاد بأن بعض الأرقام والأشكال الهندسية والعلاقات، يمكن أن تحرّض على الاتصال بمستو فوق عادي، وبأن الرموز الغامضة المعروفة من قبل الأتباع فقط، يمكن أن تحلّ عدداً من ألغاز الكون العظمى[٣]. ولا يزال هناك بقايا من علم العدد حتى اليوم، فلا زال بعض الذين يؤمنون بالخرافات يعتقدون أن الأرقام مثل ٨ و ١٣ تجلب الحظ أو النحس.

لم تقدّم محاولات الحصول على معلومات مفيدة حول الكون من خلال السحر، أو الروحانية أو الرموز العددية السرية أية نتيجة. ولكن منذ ٣٥٠ عاماً مضت، توصل أعظم ساحر على الإطلاق أخيراً إلى مفتاح الكون – وهو

شيفرة كونية ستفتح بوّابات المعرفة على مصراعيها. لقد كان هذا الشخص هو اسحق نيوتن - روحاني ولاهوتي وخيميائي - وبالرغم من تعليمه الروحاني، فقد قام أكثر من أي شخص آخر بتحويل عصر السحر إلى عصر العلم. لقد خلق نيوتن مع عدد صغير من المتنورين العلميين، ومن بينهم نيكولاس كوبرنيكوس Nicolaus Copernicus ويوهانس كيبلر Johannes Kepler وغاليلو غاليلي Galileo Galilei العصر العلمي الحديث. إن كلمة «العلم science» مشتقّة من الكلمة اللاتينية scientia والتي تعني ببساطة «المعرفة». لقد كانت أصلاً مجرد واحدة من طرق عدة، استخدمت للبحث وراء حدود حواسنا، على أمل الوصول إلى حقيقة غير مرئية. لقد تضمّن النوع الخاص من «السحر» الذي استخدمه العلماء الأوائل، إجراءات غير عادية ومتخصصة، مثل استعمال رموز رياضية على قطع من الورق، وجعل المادة تتصرّف بطرق غريبة. وقد اعتدنا اليوم على هذه الأساليب التي ندعوها النظرية العلمية والتجربة. ولم تعد الطريقة العلمية في البحث تعتبر فرعاً من السحر، وعملاً غامضاً لطائفة مغلقة و مميزة. ولكنّ الاعتياد يولّد الاحتقار، وغالباً ما يساء تقدير أهمية العملية العلمية هذه الأيام. وبشكل أدق، يظهر الناس قليلا من الدهشة بأن العلم **يعمل** فعلاً، وأننا نمتلك حقاً مفتاح الكون. لقد كان القدماء على حق: فوراء التعقيد الظاهري للطبيعة، يوجد كلام مخبّأ مكتوب برموز رياضية ذكية. ويحتوي هذا الرمز الكوني[٤] القوانين السرّية التي يعمل بها الكون. لقد تعامل نيوتن وغاليلو والعلماء القدماء الآخرون مع بحوثهم على أنها نشاط ديني. لقد آمنوا أنهم عندما يظهرون النماذج المحبوكة في عمليات الطبيعة، فإنهم كانوا حقيقة يلمحون عمل الإله[٥].

إن معظم العلماء الحديثين غير متدينين، ومع ذلك فهم لا زالوا يؤمنون بأن هناك كتابة غامضة وراء أعمال الطبيعة، لأن الاعتقاد بغير ذلك ينسف الحافز الأساسي لإجراء البحث العلمي، والذي هو اكتشاف شيء ذي معنى لم يكن معروفاً من قبل حول العالم.

ليس العثور على مفتاح لسر الكون بالضرورة أمراً محتماً. ومن البداية، فليس هناك سبب منطقي يحتّم أن يكون وراء الطبيعة صيغة رياضية. وحتى لو كانت موجودة، فليس هناك سبب واضح يجعل البشر قادرين على فهمها. ولا يمكنك أن تخمّن بالنظر إلى العالم الفيزيائي أن وراء عشوائية الظاهرة الطبيعية نظاماً مجرداً لا يمكن رؤيته أو سماعه أو الإحساس به، ولكن يمكن استنتاجه. وحتى أكثر العقول حكمة، لا يمكنه أن يعرف من الخبرة اليومية فقط، بأن نظم الكون المتعددة التي تصنع الكون، مرتبطة في أعماقها بشبكة من العلاقات الرياضية المشفّرة. لكن العلم كشف عن وجود هذا المجال الرياضي المخبأ. وجعل البشر أوصياء على أعمق أعمال الكون. إن الحيوانات الأخرى تلحظ الظواهر الطبيعية نفسها التي نلحظها، ولكننا وحدنا نحن البشر، من بين كل المخلوقات على هذا الكوكب نستطيع **تفسيرها**.

كيف حدث هذا؟ لقد رتّب الكون بطريقة ما، ليس وعيه الخاص به فقط، ولكنه رتّب إدراكه الخاص به أيضاً. لقد تصرّفت ذرات عشوائية لاعقلانية لتصنع ليس الحياة فقط، وليس العقل فقط، وإنما الإدراك أيضاً. لقد ولّد الكون أثناء تطوره مخلوقات قادرة ليس على مشاهدة العرض فقط، وإنما على فكّ عقدته أيضاً. ما الذي يجعل شيئاً صغيراً وهشّاً ومتكيّفاً مع الحياة على الأرض كالعقل البشري، يشتبك مع الكون بكامله، ومع النغمة الرياضية الصامتة التي يرقص عليها؟ كل ما نعرفه، أن هذه هي المرة الأولى والوحيدة في الكون، التي تلحظ فيها العقول الشيفرة الكونية. ولو فني البشر في غمضة عين كونية، لما حدث ذلك أبداً. وقد يستمر الكون لبلايين السنين محاطاً بسرية كاملة، لولا نبضة متحركة من المعرفة، ظهرت على كوكب واحد صغير، يدور حول نجم واحد متوسط، يقع في مجرة واحدة عادية، بعد ١٣,٧بليون سنة من بدايته.

هل هذا مجرد صدفة؟ أليس من الممكن أن يرتبط أعمق مستوى من الحقيقة، بظاهرة طبيعية غريبة ندعوها «العقل البشري» لا تمثّل سوى حالة شاذة ومؤقتة في كون مجرّد وعبثي؟ أم أنّ هناك عقدة أكثر عمقاً تعمل؟

مفهوم القوانين

ربما أعطيت الانطباع بأن نيوتن ينتمي إلى طائفة صغيرة خلقت العلم من لا شيء نتيجة بحوث سحرية. لكنّ الأمر لم يكن كذلك. فلم يتمّ عملهم في فراغ ثقافي، بل كان محصلّة تقاليد قديمة عدة. لقد كان أحدها الفلسفة اليونانية التي شجّعت على الاعتقاد، بأنه يمكن تفسيرالعالم بالمنطق والتفكير والرياضيات. وكان الآخر الزراعة، التي تعلّم منها البشر عن النظام والفوضى بمراقبة دورات الطبيعة و إيقاعاتها التي تزامنت مع كوارث مفاجئة وغير متوقعة. ثم كانت الأديان، وعلى الأخص التوحيدية منها، التي شجّعت على الاعتقاد بنظام عالمي مخلوق. كان الافتراض المؤسّس للعلم، هو أن الكون المادي ليس عبثياً أو اعتباطياً، وليس مجرّد مجموعة من الأشياء والظواهر التي وضعت مع بعضها بعضاً بدون معنى. وبدلاً عن ذلك فهناك نظام متسق للأشياء. ويعبّر عن هذا غالباً بقول بسيط وهو أن هناك نظاماً في الطبيعة. ولكنّ العلماء ذهبوا إلى أبعد من هذه الفكرة الغامضة، ليصوغوا نظاماً من قوانين محددة جيداً. إنّ وجود قوانين للطبيعة هو نقطة البداية لهذا الكتاب، وهو حقاً نقطة البداية بالنسبة للعلم نفسه. ولكننا نواجه منذ البداية معضلة واضحة وعميقة:

من أين تأتي قوانين الطبيعة؟

كما أشرت إلى ذلك فقد اعتبر غاليلو ونيوتن ومعاصروهم القوانين على أنها أفكار في عقل الإله، واعتبروا شكلها الرياضي الأنيق تجسيداً لخطّة الإله الحكيمة في الكون. غير أن القليل فقط من العلماء اليوم يصفون قوانين الطبيعة باستخدام لغة قديمة كهذه. ومع ذلك تبقى الأسئلة حول ماهيّة هذه القوانين، ولماذا هي على الشكل الذي هي عليه. وإذا لم تكن هذه القوانين من صنع عناية سماوية، فكيف يمكن تفسيرها؟

نوقشت قوانين الطبيعة تاريخيا ًبمقارنتها مع القوانين المدنية التي نشأت كوسيلة لتنظيم المجتمع البشري. ويعود مفهوم القانون المدني إلى أيام

المستوطنات البشرية الأولى، عندما كانت هناك حاجة لنوع من السلطة لمنع الفوضى الاجتماعية. وبصورة نموذجية يضع حاكم مستبدّ مجموعة من القواعد، ويرغم الشعب على التقيد بها. وبما أن قواعد شخص ما، قد تشكّل مشكلة لشخص آخر، فغالباً ما يلجأ الحكام إلى سلطة إلهية لتدعم سلطتهم. وقد يكون إله المدينة تمثالاً حجرياً منصوباً في مركز البلدة، حيث يعيّن كاهن لتفسير قوانينه. لقد شكّلت فكرة التوجّه إلى سلطة أعلى غير مادية كمبرر للقانون المدني، أساس الوصايا العشر التي طوّرت في التوراة اليهودية. واستمرت بقايا من هذه الفكرة حتى الحقبة الحديثة، على شكل الحق الإلهي المقدّس للملوك.

وتم التوجه أيضاً إلى قوة أعلى غير مرئية لدعم قوانين الطبيعة. ففي القرن الرابع قبل الميلاد، وصف الفيلسوف كلينثيس Cleanthes «طبيعة عامة توجّه الأشياء كلها بحسب القانون»[٦]. وربما كان نظام الطبيعة أوضح ما يكون في الجنّة – المكان المخصّص للآلهة. وبالفعل فكلمة (astronomy الفلك) تعني «قانون النجوم». وقد أشار الشاعر الروماني لوكريتيس Lucretius في القرن الأول قبل الميلاد، إلى الطريقة التي تتطلب فيها الطبيعة «أن يلتزم كل شيء **بالقانون** الذي حكم خلقه»[٧]. وفي القرن الأول بعد الميلاد، كان ماركوس مانيلوس Marcus Manilus واضحاً حول مصدر نظام الطبيعة حيث كتب: «وضع الله الكون كلّه تحت قانون»[٨]. واعتنقت الديانات التوحيدية هذا الاعتقاد بشكل كامل. كان الإله الخالق هو أيضاً الإله الصانع للقوانين الذي نظّم الطبيعة حسب مشيئته الإلهية. ولذا فقد كتب عالم اللاهوت من المسيحيين الأوائل أغسطين هيبو Augustine of Hippo يقول: «إن للمسار العادي للطبيعة في الكون المخلوق بكامله قوانين طبيعية محددة»[٩].

وبحدود القرن الثالث عشر، توصل اللاهوتيون والعلماء الأوروبيون مثل روجر بيكون Roger Bacon إلى نتيجة مفادها، أن لقوانين الطبيعة أساساً رياضياً، وهي الفكرة التي تعود إلى فيثاغورث Pythagoreans. وأصبحت

جامعة أكسفورد مركز العلماء الذين طبّقوا الفلسفة الرياضية على دراسة الطبيعة. لقد كان توماس برادواردن Thomas Bradwardine 1295-1349 أحد الذين أطلق عليهم لقب «عدادي أكسفورد»، وأصبح بعد ذلك أسقف كانتبري. اشتهر براندواردن بقيامه بأول عمل علمي أعلن قانوناً رياضياً عاماً في الفيزياء بحسب المفهوم الحديث. وحسب هذه الخلفية فليس من الغريب أن يعتقد العلماء الأوائل عند ظهور العلم الحديث في أوروبا المسيحية في القرنين السادس عشر والسابع عشر أن القوانين التي كانوا يكتشفونها في السماء والأرض هي الشواهد الرياضية على العمل البديع لله.

المكانة الخاصة لقوانين الفيزياء

تحتل قوانين الفيزياء اليوم المركز الرئيس في العلم. وبالفعل فقد اتخذت مكانة مقدّسة تقريباً، غالباً ما أشير إليها على أنها أساس الحقيقة المادية. ودعني أقدّم مثالاً حيّاً على ذلك. إذا ذهبت إلى مدينة بيزا في ايطاليا، يمكنك رؤية البرج المائل الشهير (الذي أعيد ترميمه هندسياً ليكون بميل آمن). تقول التقاليد بأن غاليليو أسقط كرات من أعلى البرج ليوضّح سقوطها بتأثير الثقالة. وبغض النظر عمّا إذا كان هذا صحيحاً أم لا، فقد قام بالفعل بإجراء بعض التجارب الدقيقة لأجسام ساقطة، وهذا ما مكّنه من اكتشاف القانون التالي: إذا أسقطت كرة من أعلى بناء مرتفع، وقست المسافة التي سقطت منها في ثانية، ثم كرّرت التجربة لثانيتين وثلاث ثوان وهكذا، ستجد أن المسافة التي قطعتها الكرة تزداد مع مربّع الزمن. ستسقط الكرة في ثانيتين مسافة تعادل ٤ أمثال المسافة في ثانية و٩ أمثال خلال ٣ ثوان وهكذا. ويدرس أطفال المدارس اليوم هذا القانون على أنه «حقيقة من حقائق الطبيعة»، وعادة ما يتجاوزونه دون أن يفكّروا أكثر فيه. ولكنني أريد أن أقف عند هذا، واسأل السؤال: لماذا؟ لماذا هناك مثل هذا القانون الرياضي الذي ينطبق على الأجسام الساقطة؟ من أين أتى هذا القانون؟ ولماذا هذا القانون بالذات، وليس قانوناً آخر؟

دعني أعطي مثالاً آخر على قانون فيزيائي أثّر فيّ كثيراً أيام دراستي. وهو يتعلق بالطريقة التي يفقد فيها مغناطيسان التصاقهما عند فصلهما. ضع المغناطيسين جنباً إلى جنب، وقس القوة كلما زادت المسافة الفاصلة بينها. ستجد أن القوة تتناقص مع **مكعب** المسافة، ويمكن أن نعبّر عن ذلك بالقول، أنه إذا ضاعفنا المسافة الفاصلة بينهما، فستنخفض القوة إلى الثمن، وإذا زدنا المسافة ٣ أمثال فستنخفض سبعاً وعشرين مرة... وهكذا. ومرة أخرى أسارع لطرح السؤال، لماذا؟

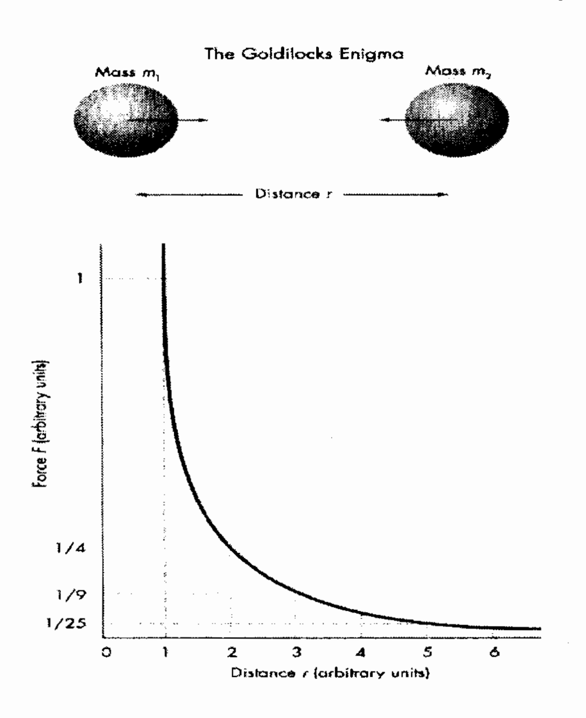
تحمل بعض قوانين الفيزياء اسم مكتشفها مثل قانون بويل Boyle في الغازات، والذي يخبرك بأنك لو ضاعفت حجم كتلة معينة من الغاز مع الحفاظ على حرارتها فإن ضغطها سينخفض إلى النصف. أو قوانين كيبلر Kipler لحركة الكواكب، والذي يقول أحدها بأن مربّع الفترة لمدار ما يتناسب مع مكعب نصف قطر المدار. وربما كان قانونا نيوتن في الحركة والثقالة أشهر هذه القوانين. لقد استلهم نيوتن القانون الأخير من سقوط تفاحة من شجرة. ويصرّح هذا القانون، بأن قوة الثقالة تتناقص مع مربع المسافة الفاصلة بين الجسمين. أي أن القوة التي تربط الأرض بالشمس وتمنعها من الطيران عبر المجرة تتناقص إلى ربعها لو كان مدار الأرض ضعف طوله الحالي. ويعرف هذا بقانون مقلوب التربيع. وقد رسمت شكلاً يمثله كما في الشكل (١).

لقد دفعت حقيقة اتباع الكون المادي لقوانين الرياضيات، العالم غاليليو ليقول عبارته الشهيرة « يمكن قراءة سفر الطبيعة العظيم فقط من قبل أولئك الذين يعرفون اللغة التي كتب بها. وهذه اللغة هي الرياضيات»[١٠]. وصرّح عالم الفلك الإنكليزي جيمس جينز James Jeans عن هذه الفكرة بوضوح أكبر بعد ذلك بثلاثة قرون «يبدو العالم وكأنه مصمّم من قبل عالم متخصص في الرياضيات البحتة»[١١]. إن هذه السمة الرياضية هي التي تجعل من الممكن فهم ما يعنيه الفيزيائيون من الكلمة التي أسيء فهمها كثيراً: نظرية Theory .

وتشمل الفيزياء النظرية كتابة معادلات تلتقط (أو كما يقول العلماء تمثّل) العالم الواقعي المجرب، ضمن عالم رياضي من الأعداد والعلاقات الرياضية. ثم يمكن للمرء عن طريق التصرّف بالرموز الرياضية أن يعرف ماذا سيحدث في العالم الواقعي، بدون أن يجري فعلاً أية ملاحظة. أي أنه بتطبيق العلاقات التي تعبّر عن القوانين ذات العلاقة بالمشكلة المدروسة، يمكن لعالم الفيزياء النظرية أن يتنبأ بالجواب. وعلى سبيل المثال، يمكن للمهندسين باستخدام قوانين نيوتن في الحركة والثقالة، أن يعرفوا متى يصل قمر فضائي أطلق من الأرض إلى المريخ. ويمكنهم أيضاً حساب كمية الوقود وأفضل مدار وعوامل أخرى عدة قبل الرحلة. وهي تعمل أيضاً ! ويصف النموذج الرياضي بكل إخلاص ما يحدث فعلاً في العالم الحقيقي. (وبالطبع قد يكون على المرء في الواقع، أن يبسّط النموذج ليوفّر زمن التحليل وكلفته، مما يجعل التنبؤ جيداً إلى درجة معيّنة فقط من التقريب، ولكن هذا ليس خطأ القانون).

عندما كنت في المدرسة، أغرمت بصبية صغيرة في الصف تدعى لندسي. لم أكن أراها كثيراً لأنها كانت تدرس الآداب بصورة رئيسة بينما كنت أدرس العلوم والرياضيات. ولكننا كنا نلتقي في مكتبة المدرسة من حين لآخر. وفي إحدى المرات كنت مشغولاً بإجراء بعض الحسابات. ولا أزال إلى اليوم أذكر تلك الحسابات. إذا رميت كرة في الهواء بسرعة وزاوية معينتين، فستسمح لك قوانين نيوتن بحساب المسافة التي تقطعها قبل أن تسقط على الأرض. وتخبرك المعادلات بأنه عليك أن ترمي الكرة بزاوية ٤٥ْ على الأفق حتى تحصل على أبعد مسافة. وإذا كانت الأرض التي تقف عليها تميل نحو الأعلى فيجب أن تكون الزاوية أكبر، حيث تعتمد قيمتها على ميل الأرض. لقد كنت منهمكاً في حساب المسافة العظمى على مستو مائل، عندما نظرت لندسي إليّ وسألتني ماذا أفعل. لقد شرحت لها الأمر. ولكنها بدت متشكّكة ومندهشة وسألتني « كيف بإمكانك أن تعرف ما ستفعله كرة بكتابة أشياء على قطعة من الورق؟» لقد اعتبرت سؤالها في ذلك الوقت سخيفاً –

فقد كان هذا ما علّمنا أن نفعله. ولكنني عبر السنين بدأت أرى أن سؤالها العفوي يتضمن أحد أعمق أسرار العلم. لم ترافق الرياضيات الطبيعة؟ ولم تنجح الفيزياء النظرية؟[١٢]



الشكل ١ قانون مقلوب التربيع للثقالة

تتناقص قوة الثقالة بين كتلتين m_1 و m_2 (قد يكونا نجمين أو كوكبين) مع زيادة المسافة بين مركزي الكتلتين بحسب المنحني البسيط المبين.

كم قانوناً هناك؟

مع غوص العلماء أعمق فأعمق في أعمال الطبيعة، اكتشفت أنواع عدة من القوانين لم تكنْ ظاهرة عن طريق التفحّص العادي للعالم، مثل القوانين التي تحكم المكوّنات الداخلية للذرات، أو بنية النجوم. ويثير تعدد القوانين سؤالاً هامّاً آخر. كم طول القائمة الكاملة للقوانين؟ هل تحتوي عشرة؟ أم عشرين؟ أم مئتين؟ هل يمكن أن تكون القائمة بلا نهاية؟

ليست كل القوانين مستقلة عن بعضها بعضاً. فلم يمض وقت طويل على غاليليو، حتى بدأ نيوتن وكبلر وبويل باكتشاف قوانين فيزيائية وجد العلماء أنها متعلقة ببعضها بعضاً. وعلى سبيل المثال، تشرح قوانين نيوتن في الثقالة والحركة قوانين كبلر الثلاثة لحركة الكواكب، وبالتالي فهي بمعنى ما أعمق منها، وأكثر قوة. وتشرح قوانين نيوتن في الحركة أيضاً قانون بويل في الغازات عندما تطبّق إحصائياً على مجموعة كبيرة من الجزيئات التي تتحرك عشوائياً.

وفي القرون الأربعة التي مرت منذ اكتشاف القوانين الأولى في الفيزياء ظهرت قوانين أكثر فأكثر، وظهرت أيضا علاقات أكثر فأكثر بينها. وعلى سبيل المثال فقد وجد أن قوانين الكهرباء مرتبطة بقوانين المغناطيسية، والتي بدورها شرحت قوانين الضوء. وقد أدت هذه العلاقات إلى قدر معين من الفوضى حول أية قوانين هي «**أساسية**» وأيها مشتقة من الأخرى. وبدأ الفيزيائيون يتكلمون حول «القوانين الأساسية» و«القوانين الفرعية» والتي توحي بأن القوانين الفرعية صيغت للمنفعة فقط. ويدعو الفيزيائيون أحيانا هذه القوانين ب «**القوانين الفعّالة**» لتمييزها من القوانين «**الحقّة**» الأساسية والتي تتفرع منها من حيث المبدأ على الأقل القوانين الفعّالة أو الفرعية. ومن هذه الناحية تختلف قوانين الفيزياء كثيراً عن القوانين المدنية، والتي هي مجموعة غير مرتّبة من اللوائح، التي تتوسع بلا نهاية. وبأخذ مثال مبالغ فيه فإن قوانين الضرائب في بعض الدول تقع في ملايين الكلمات المكتوبة. وبالمقارنة فإن كتاب قواعد الطبيعة الكبير (على الأقل كما يفهم حالياً) يمكن أن يشغل بكل رحابة، صفحة واحدة. إن إطلاق القوانين ومن ثم إعادة ترتيبها – أي إيجاد روابط بينها واختزالها إلى قوانين رئيسة – يستمر بسرعة، ويغري بالاعتقاد أن هناك في نهاية المطاف **حفنة فقط** من القوانين الأساسية «**الحقة**» وربما **قانون واحد فائق فقط** تشتق منه كلها القوانين الأخرى.

وباعتبار أن قوانين الفيزياء هي الأساس للمشروع العلمي بكامله، فمن الغريب أن يكلّف قلة فقط من العلماء أنفسهم عناء السؤال عما تعنيه هذه القوانين. فإذا تكلمت مع الفيزيائيين سيقول معظمهم بأن القوانين هي **أشياء حقيقية** – ليست بالطبع أجساماً مادية ولكن علاقات مجردة بين مكوّنات فيزيائية. لكن المهم أنها علاقات توجد حقيقة «هناك» في العالم، وليست في عقولنا فقط.

وللاختصار فقد كنت مهملاً بعض الشيء في مصطلحاتي. لو واجهت فيزيائياً وقلت له «أرني قوانين الفيزياء»، فسيحيلك إلى مجموعة من الكتب في الميكانيك والثقالة والكهرطيسية والفيزياء النووية وغيرها. ولكن السؤال الهام هو فيما إذا كانت القوانين التي تجدها في الكتب هي قوانين الفيزياء فعلاً، أم مجرد أفضل محاولة لشخص ما. ستدّعي قلة من الفيزيائيين بأن قانوناً موجوداً في كتاب منشور حالياً، هو آخر ما يقال في هذا الموضوع. فربما كانت كلّ القوانين في الكتب نوعاً من التقريب للقوانين الحقيقية. ومع ذلك فإن معظم الفيزيائيين يعتقدون بأنه مع تقدّم العلم، ستقترب القوانين في الكتب من الشيء الحقيقي [١٣].

هل القوانين حقيقية؟

هناك ذكاء مدفون في هذا كله سيكون مهماً جداً عندما أناقش منشأ القوانين. بدأت فكرة القوانين كوسيلة لتشكيل النماذج التي تربط الأحداث الفيزيائية في الطبيعة بشكل رسمي. واعتاد الفيزيائيون على هذه القوانين، بحيث أصبحت مع الزمن – كمقابل للأحداث التي تصفها – **حقيقة بحد ذاتها**. وبذلك فقد اتخذت القوانين لها حياة خاصة بها. ومن الصعب على غير العلماء أن يدركوا أهمية هذه الخطوة. ويمكن إجراء مقارنة ذلك مع عالم المال. فالنقود في الجيب تعني أوراقاً مالية وعملات معدنية. وهي أشياء مادية حقيقية تبادل مقابل سلع مادية حقيقية أو مقابل خدمات. لكن النقود بالمعنى المجرد اتخذت لها حياة خاصة بها. فالمستثمرون يمكنهم أن يزيدوا (أو كما في حالتي أن ينقصوا) أموالهم، حتى بدون أن يبيعوا أو يشتروا سلعاً مادية.

وعلى سبيل المثال فهناك قواعد لتداول عملات مختلفة، هي على الأفضل، مرتبطة قليلاً بالشراء الحقيقي من حانوت بالقرب من منزلك. وفي الحقيقة هناك مال في التداول يدور معظمه في المجال السبراني عبر الانترنت، أكثر بكثير من أن يكون على شكل عملات معدنية، وأوراق مالية. وبشكل مماثل يقال بأن قوانين الفيزياء، توجد في مجال حقيقي، ولا تلامس العالم المادي إلا حين «**تعمل**» فقط. ويبدو كما لو أن القوانين في حالة انتظار وجاهزة، لتتحكم في عملية مادية معينة، وإجبارها على الالتزام، تماماً كما توجد قواعد تحويل العملات في «مكانها» حتى لو لم يكن هناك أحد يقوم بتحويل العملة. إن هذه النظرة التأمّلية للقوانين الفيزيائية على أنها تمتلك سلطة على الطبيعة، ليست بدون منتقدين (بشكل رئيس الفلاسفة الذين يفضّلون نظرة «وصفية»)[١٤]. لكن معظم الفيزيائيين الذين يشتغلون في مواضيع أساسية في الفيزياء، يشغلون معسكر النظرة التأملية حتى وإن لم يستسلموا لها حرفياً.

ولذا، لدينا هذه الصورة عن قوانين فيزيائية موجودة فعلاً، محجوبة في مكان سام، يجعلها تتحكم بالمادة الأقل شأنا. ويتعلق أحد أسباب هذه الطريقة في التفكير بالقوانين، بوظيفة الرياضيات. لقد بدأت فكرة الأعداد كوسيلة لترسيم الأشياء وعدّها مثل الخراف أو الحبيبات. ومع تطوّر موضوع الرياضيات وامتداده من الحساب البسيط إلى الهندسة والجبر والتكامل... الخ، بدأت هذه المواضيع والعلاقات الرياضية تفترض لها وجوداً مستقلاً. ويعتقد الرياضيون بأن تعابير مثل «٣*٥ =١٥» و«١١ عدد أولي»، صحيحة بحد ذاتها – بمعنى مطلق وعام – دون أن تكون مرتبطة ب « ثلاثة خراف» أو «إحدى عشر حبة».

لقد قدّر أفلاطون وضع المواد الرياضية، واختار أن يضع الأعداد والأشكال الهندسية المثالية في حقل مجرد مؤلف من الأشكال الكاملة. وفي هذه الجنّة الأفلاطونية، توجد على سبيل المثال الدوائر الكاملة – على نقيض الدوائر التي نصادفها في العالم الحقيقي، والتي هي دائماً تقريب غير تام للنموذج المثالي. إن العديد من علماء الرياضيات الحديثين أفلاطونيون (في

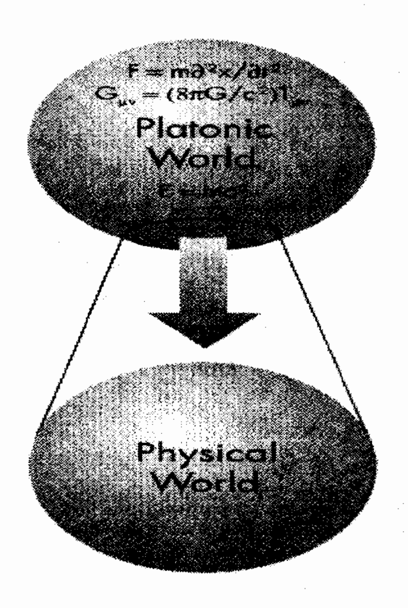
عطلة نهاية الأسبوع على الأقل). وهم يعتقدون بأن للعلاقات الرياضية وجوداً حقيقياً، ومع ذلك فهي غير موجودة في الكون المادي. ويجد علماء الفيزياء النظرية أيضاً، والذين نشؤوا على التقليد الأفلاطوني، أن من الطبيعي أن توجد القوانين الرياضية للفيزياء في حقل أفلاطوني. لقد مثّلت هذا الترتيب بالرسم الموضح في الشكل (٢). وفي الفصل الأخير سألقي نظرة ناقدة على طبيعة القوانين الفيزيائية، وسأسأل فيما إذا أصبحت النظرة الأفلاطونية ولعاً غير مرغوب فيه في الاندفاع نحو فهم الأسس الرياضية للكون.

وداعاً للإله؟

شكّل الدين أول محاولة منظّمة لتفسير الكون بشكل كامل. وقدّم الكون على أنه نتاج عقل أو عقول لكائنات فوق الطبيعة، تستطيع تنظيم الطبيعة أو تخريبها، كما تشاء. وفي الهندوسية فإن براهما هو الخالق وشيفا هو المدمّر. وفي اليهودية فإن يهوه هو الخالق والمدمّر في آن واحد، وبالنسبة لسكان استراليا الأصليين، يعمل خالقان بالتعاون مع بعضهما بعضاً. أحدهما ولانغادا وهو كائن فضائي ذكر، رشّ الماء فوق ونغود، وهي حية أنثى ملفوفة في مادة جلاتينية ليصنع يورو – يورو وهو العالم كما نراه [١٥]. في مثل هذه الأنواع من الأنظمة توجد الأشياء على ما هي عليه لأن إلهاً (أو آلهة) قررت أن تكون كذلك. لقد كرّست ديانات العالم الرئيسة قروناً من البحث، في محاولاتها لجعل هذه التفسيرات الإلهية متّسقة ومقنعة. وحتى اليوم لا زال ملايين البشر يبنون نظرتهم للعالم على أساس التفسير الديني للطبيعة.

كان العلم المحاولة العظيمة الثانية لتفسير العالم. و وضعت هذه المرة التفاسير على شكل قوى غير شخصية، وعمليات فيزيائية طبيعية، عوضاً عن النشاطات المتعمّدة لوسطاء فوق الطبيعة. وعندما تعارضت التفاسير العلمية مع التفاسير الدينية كان الدين دوماً هو الذي يخسر المعركة. وغالباً ما تراجع علماء الدين ليركّزوا على القضايا الأخلاقية والاجتماعية كالتنوير الروحي، قانعين بترك تفسير الكون المادي للعلماء. ولا زال هناك أشخاص يعتقدون بأن المطر يصنع من قبل «آلهة المطر» بدلاً من العمليات الجوية. ولكنني لن أراهن

عليهم عندما يتحاججون مع عالم أرصاد جوية. وعندما يتعلق الأمر بظواهر فيزيائية حقيقية، فإن العلم ينتصر بسهولة مقابل الآلهة والمعجزات. **ولكن هذا لا يعني أن العلم فّسر كل شيء.** فلا تزال هناك بعض الفجوات الكبيرة حقاً. وعلى سبيل المثال، لا يعلم العلماء كيف نشأت الحياة، وهم محتارون تقريباً كلياً حول قضية الإدراك. وحتى بعض الظواهر المعهودة كاضطراب السوائل لا زالت غير مفهومة تماماً. لكن هذا لا يعني أن على المرء أن يلجأ إلى السحر والمعجزات لسد هذه الفجوات، بل المطلوب هو إحراز تقدم في الفهم العلمي لها. وسأعالج هذا الموضوع بالتفصيل في الفصل العاشر.



الشكل ٢: أين توجد قوانين الفيزياء؟

اعتقد أفلاطون أن الأشياء الرياضية توجد حقاً، وهي موجودة ليس في العالم المادي الظاهر، ولكن في حقل يحتوي أشكالاً مثالية مجردة، يمكن للعقل أن يصل إليه. ويميل الفيزيائيون النظريون الذين يعبرون عن قوانين الفيزياء بعلاقات رياضية لاتباع هذا التقليد. وهم يفضلون تصور قوانين الفيزياء على أنها تمتلك وجوداً حقيقياً ولكنه يسمو على الحقيقة المادية.

عندما يتعلق الأمر بأسئلة ميتافيزيقية مثل «لماذا هناك قوانين للطبيعة؟»، يصبح الوضع أقل وضوحاً. هذا النوع من الأسئلة لا يتأثر كثيراً باكتشافات علمية محددة، فلا زال عدد من الأسئلة الكبيرة حقاً على ما كانت عليه منذ نشأة الحضارة، ولا زالت تحيرنا حتى اليوم. وظلت الأنواع المختلفة من الديانات تفكر فيها بعناية لمئات السنين. ولم يكن علماء دين أمثال آنسيلم Anselm وتوماس الأكويني Thomas Aquinas متدينين بسطاء وأتقياء فقط، لكنهم كانوا كبار المثقفين في عصرهم.

يعترف العديد من العلماء الذين يحاولون بناء نظرية مفهومة تماماً للكون المادي بصراحة، بأن جزءاً من دافعهم لذلك هو التخلص نهائياً من الله، الذي يعتبرونه وهماً خطيراً و ساذجاً. وليس الله فقط، ولكن أي أثر لكلام إلهي مثل «المعنى» و«الهدف» أو «التصميم» في الطبيعة. ويرى هؤلاء العلماء أن الدين خطير وخادع، حيث لا ينفع معه سوى تطهير معتقداته بالكامل. ولا يقبل هؤلاء الحل الوسط، ويعتبرون العلم والدين على أنهما نظرتان مختلفتان للعالم. لقد افترض هؤلاء أن النصر هو النتيجة المحتمة، لصعود العلم و لمنهجه القوي.

ولكن هل يتوارى الله بهدوء؟ حتى ضمن عالم الدين المنظّم، فإن مفهوم الإله يعني أشياء عدة مختلفة، بالنسبة لأشخاص مختلفين. وعلى مستوى مدرسة الأحد الشائعة في المسيحية يصور الإله ببساطة، على أنه نوع من ساحر كوني، أخضع العالم للوجود من لا شيء، ويصنع المعجزات من حين لآخر لحل المشاكل. إن مثل هذا الكائن هو بوضوح، على تضاد كامل مع النظرة العلمية للكون. وعلى نقيض ذلك يصور إله علم اللاهوت، على أنه معمار كوني حكيم، يتجلى وجوده من خلال النظام العقلاني للكون، وهو نظام يقوم العلم بإظهاره. إن هذا النوع من الإله حصين عموماً ضد هجوم العلم عليه.

هل الكون بلا مغزى؟

حتى العلماء الملحدون، الذين يشكلون جزءاً صغيراً جداً وهشّاً من الكون يدبجّون قصائد المديح في ضخامته وعظمته وتناغمه وأناقته وعبقريته. ومع تكشّف قصة الكون العظيمة لنا، بدأ يظهر كما لو أن تطوره يتّبع نصاً «– مخطّطاً للأشياء –». لذا علينا أن نسأل من كتب هذا النص؟ أم هل يكتب النص نفسه بمعجزة؟ هل كتب النص الكوني العظيم مرة واحدة ولكل الأزمان، أم هل يقوم الكون أو المؤلف غير المرئي بصنعه مع مرور الزمن؟ هل هذه هي القصة الوحيدة التي تمثّل؟ أم هل أن كوننا واحد من عروض عدة تمثّل في البلدة؟

إن حقيقة اتّباع الكون لمخطط منظم وأنه ليس مجرد خليط عشوائي من الحوادث، يجعل المرء يتساءل – سواء أكان هناك إله أم لم يكن – فيما إذا كان هناك نوع ما من المعنى أو الهدف وراء هذا كله. ومع ذلك يسارع العديد من العلماء لاحتقار حتى هذا الاقتراح الأضعف. لقد فكّر ريتشارد فينمان Richard Feynman الذي ربما كان أعظم علماء الفيزياء النظرية في منتصف القرن العشرين من أن «التراكم الكبير في معرفة كيفية تصرف العالم المادي يقنع المرء فقط بأن لهذا التصرف نوعاً من اللامعنى»[١٦]. ويتردد صدى هذا الشعور عند عالم الفيزياء النظرية وعالم الكون ستيفان واينبرغ Steven Weinberg «كلما بدا الكون مفهوماً كلما بدا أيضاً أنه بلا هدف». وتعرض واينبرغ لبعض اللوم من زملائه لكتابته هذا التعليق – لم يكن لأنه نفى أن يكون للكون هدف وإنما لمجرد أنه اقترح بأنه **يمكن** أن يكون له هدف».

وبالتأكيد فإن مفاهيم مثل الهدف والمعنى هي مصطلحات وضعها الإنسان ويجب أخذ الحذر عندما نحاول إسقاطها على الكون المادي. ولكن كل المحاولات لوصف الكون علمياً اعتمدت على المفاهيم البشرية: فالعلم يتقدم بالضبط بأخذ المفاهيم التي فكّر فيها البشر من خبرتهم اليومية غالباً

وتطبيقها على الطبيعة. إن إجراء العلم يعني اكتشاف ما يجري في العالم – ماذا «يفعل» الكون وما «موضوعه». وإذا لم يكن للكون موضوع فليس هناك سبب وجيه للشروع في الاكتشاف العلمي لأنه لن يكون لدينا أساس معقول للاعتقاد أن باستطاعتنا الكشف عن حقائق إضافية متسقة وذات معنى حول العالم. ولذا يمكننا بحق عكس مقولة واينبرغ ونقول، بأنه «كلما بدا الكون بدون هدف كلما بدا أيضاً غير مفهوم». وبالطبع فقد يكون العلماء مضللين في اعتقادهم بأنهم يجدون حقيقة منتظمة و متسقة في أعمال الطبيعة. وربما نقوم بنسج لوحة فكرية مبهرة من لا شيء أكثر من عادي. وفي النهاية قد لا يكون هناك سبب على الإطلاق لكون الأشياء على ما هي عليه. ولكن هذا سيجعل من الكون قطعة ذكيّة من الخداع. هل يمكن لكون عبثي تماماً أن يقلّد بشكل مقنع كوناً ذا معنى؟ إن هذا أكبر الأسئلة الكبرى حول الوجود التي سنواجهها عند شروعنا باستكشاف الحياة والكون وكل شيء آخر.

النقاط الرئيسة :

- هناك عدد من الأسئلة الكبرى حول الوجود على جدول أعمال العلم.
- يبدو أن السؤال الكبير حقاً وهو لماذا الكون ملائم للحياة قد رتّب ليكون كذلك.
- يتّبع الكون قوانين رياضية تشبه حواشي مكتوبة مخفية في الطبيعة. ولتقدير كتابي هذا يجب أن تكون متقبّلاً لهذه الفكرة.
- قوانين الفيزياء الرئيسة هي وراء كل شيء، ويعتقد العديد من الفيزيائيين بأنها حقيقية، وأنها تسكن في فضاء أفلاطوني سام.
- يظهر العلم بأن هناك مخططاً متّسقاً للأشياء. لكن العلماء لا يفسرون بالضرورة هذا على أنه دليل على وجود هدف ومعنى للكون. فمعظمهم ولكن ليس كلهم، ملحدون أو لا أدريون.
- من المفترض أن أشرح بطريقة ما هذا كله.

الفصل الثاني

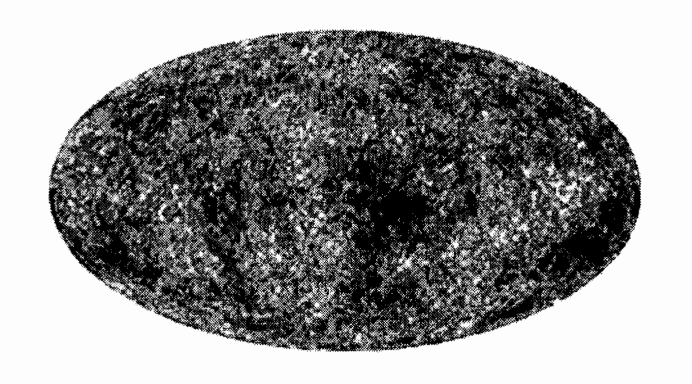
تفسير الكون

الانفجار الكبير و الكون المتمدد

أثر عن جامعة كامبردج أن عالم الفيزياء النووية ايرنست روذرفورد Ernest Rutherford أصدر تعليمات لمرؤوسيه يحذرهم فيها من التخمين الخيالي المبالغ فيه قائلاً «لا تدعوني أعثر على شخص يتحدث حول الكون في قسمي». لقد كان ذلك في ثلاثينات القرن الماضي. ولكي نكون منصفين لروذفورد، فلم يكن علم الكون موجوداً كعلم في ذلك الوقت. وحتى عندما كنت طالباً في لندن في الستينات، تهكّم المشككون بأن هناك تخميناً وتخميناً مربعاً وعلم كون. ولكن منذ ذلك الوقت غيّر التقدم في تصميم التلسكوب ومعالجة البيانات واستخدام الأقمار الصناعية علم الكون بشكل كبير. ووصل التقدم السريع إلى ذروته في ١١ شباط ٢٠٠٣ عندما حملت وكالات الأنباء العالمية صورة غريبة بيضوية الشكل تشبه تلويناً بالتنقيط لجاكسون بولوك Jackson Pollock. لقد فتحت هذه الصورة غير الجذّابة نافذة على الكون لم يتوفر مثلها من قبل، ودفعت علم الكون قدماً – دراسة أصل الكون وتطوره

ومصيره على أوسع مدى زماني ومكاني – إلى القرن الحادي والعشرين. لقد نضج الموضوع أخيراً ليصل إلى علم منظّم ومكمّم. لقد لخّصت الصورة النتائج الأولية لقمر صناعي يدعى مسبار ويلكنسون ميكروويف آنيسوتروبي Wilkinson Microwave Anisotropy أو باختصار WMAP. وكانت وظيفة WMAP مسح السماء ليس بالضوء وإنما بالحرارة. إنها **خريطة حرارية للكون** مؤلفة من تفاصيل غير مسبوقة من قبل. وكانت الملامح المطبوعة في الصورة بقايا عن ولادة الكون قبل ١٣ بليون سنة (انظر الشكل ٣).

لن يوجد علم الكون كموضوع ما لم يكن هناك «كون» يقوم بشرحه. وبدلاً من اكتشاف أن الكون مليء بخليط غير متسق بعضه بعضاً كفطور كلب، يرى الفلكيون الكون كوحدة متسقة ومتناغمة. وهناك على أكبر حجم مقاس نظام وتجانس. فالنجوم والمجرات التي تقع بلايين السنين الضوئية بعيداً عنا تشبه كثيراً تلك الموجودة بالقرب منا، وتتوزع بالطريقة نفسها في كل مكان. كما أن تركيبها وحركتها متشابهة. وتبدو قوانين الفيزياء واحدة إلى أبعد مكان في الفضاء يمكن أن تخترقه أجهزتنا. وباختصار فهناك كون بدلاً من فوضى. إن هذه الحقيقة الهامة ضرورية لوجودنا: فالحياة لم تكن لتظهر ولدرجة أقل، لتتطور إلى مرحلة الذكاء بوجود الفوضى. وهي أيضاً – أو على الأقل كانت حتى وقت قريب – سر عميق. لماذا وجب أن ترتّب الأشياء بهذا الشكل المنظّم؟ ولإيجاد الجواب عن هذا السؤال المعقّد نحتاج لفهم كيف نشأ الكون، وأن نستنتج كيف تطوّر على مدى بلايين السنين ليصل إلى شكله الحالي المنظّم والملائم للحياة.



الشكل ٣: الضياء اللاحق للخلق

تقدم هذه الخارطة الحرارية للسماء بترددات ميكروية كما قيست بالقمر الصناعي WMAP لقطة للكون عند حوالي ٣٨٠٠٠٠ سنة بعد الانفجار الكبير. تمثّل النقط والبقع اختلافات بسيطة في درجة الحرارة مطبوعة على الإشعاع بتغيرات الكثافة في الكون الأوّلي. وبدراسة تفاصيل هذه التغيرات يمكن لعلماء الكون أن يستنتجوا الكثير حول منشأ الكون تاريخه ومصيره المحتمل وكذلك هندسته ومكوّناته. المناطق عالية الكثافة الممثلة بالبقع خفيفة اللون هي «البذور» التي تتشكل حولها عناقيد المجرات. أسست الصورة المبينة هنا على بيانات أكثر دقة أصدرت في آذار عام ٢٠٠٦.

عندما تأمّل أسلافنا السماء، ظنوا أن الشمس والقمر والنجوم تدور حول الأرض. ولم يكن مقاس الكون معروفاً آنذاك. وحتى اكتشاف المنظار فشل في إظهار المقياس الحقيقي للكون. وفقط خلال العقود القليلة الماضية استطاع الفلكيون أن يدوّنوا الأعداد التي تقيس الحجم الكبير للأشياء. إن شمسنا واحدة من مئات البلايين من النجوم التي تشكل مجرة درب اللبانة، ودرب اللبانة بدوره هو واحد من مئات البلايين من المجرات الموزعة في الفضاء حتى حدود كشف أجهزتنا. إن المسافات بين النجوم كبيرة جداً، بحيث يقيسها الفلكيون بدلالة السنين الضوئية – المسافة التي يقطعها الضوء في سنة واحدة. وتعادل السنة الضوئية الواحدة حوالي ٦

تريليون ميل أو ١٠ تريليون كيلومتر. ولاستيعاب هذا فإن القمر يبعد مسافة تقدر بثانية ضوئية واحدة، وتبعد الشمس أكثر بقليل من ٨ دقائق ضوئية. ويبلغ مقطع مجرة درب اللبانة والتي هي مجرة لولب نموذجي حوالي ١٠٠٠٠٠ سنة ضوئية. وتقع مجرة أندروميدا Andromeda وهي جارة قريبة من مجرة درب اللبانة على بعد حوالي ٢,٥ مليون سنة ضوئية. إن أبعد مجرة رصدها منظار هوبل Hubble الفضائي، أبعد من ١٠ بليون سنة ضوئية. ولذا فالكون بالمقياس البشري ضخم إلى درجة تفوق التصور.

وعلى الرغم من أن النتائج من WMPA تشير إلى اللحظة التي نضج فيها علم الكون، إلا أن مولد هذا العلم يعود إلى ثمانين عاماً مضت، وإلى العمل المبتكر الذي قام به المحامي الذي تحول إلى فلكي ادوين هوبل Edwin Hubble. وهوبل هو الشخص الذي عزي له الفضل في اكتشاف تمدد الكون على الرغم من أن عدداً من الملاحظات الهامة أجريت من قبل مساعده فيستو سليفر Vesto Slipher. درس هوبل وسليفر الضوء من عدة مجرات ووجدا أن الأبعد منها كانت أشد احمراراً. لقد عرف منذ زمن طويل أن موجات الضوء من مصدر مبتعد تكون ممتدة وبالتالي منحرفة نحو الطرف الأحمر من الطيف (وبالمقابل فالضوء من مصدر قريب ينحرف نحو الأزرق). لقد وجد هوبل وسليفر أن الانحراف نحو الأحمر يصبح أكبر كلما كانت المجرة أبعد منا، والأكثر من ذلك هو أن هذا التأثير واحد في كل الاتجاهات. وكان أبسط تفسير لهذه الحقائق والذي أعلنه هوبل للعالم، هو أن المجرات تتحرك مبتعدة عنا في نموذج منتظم من التمدد.

ومن الجليّ أنه لو أن الكون يتمدّد الآن، لوجب أن يكون أكثر انضغاطاً في الماضي. وباستخدام معدّل التمدد المقاس فمن السهل عرض

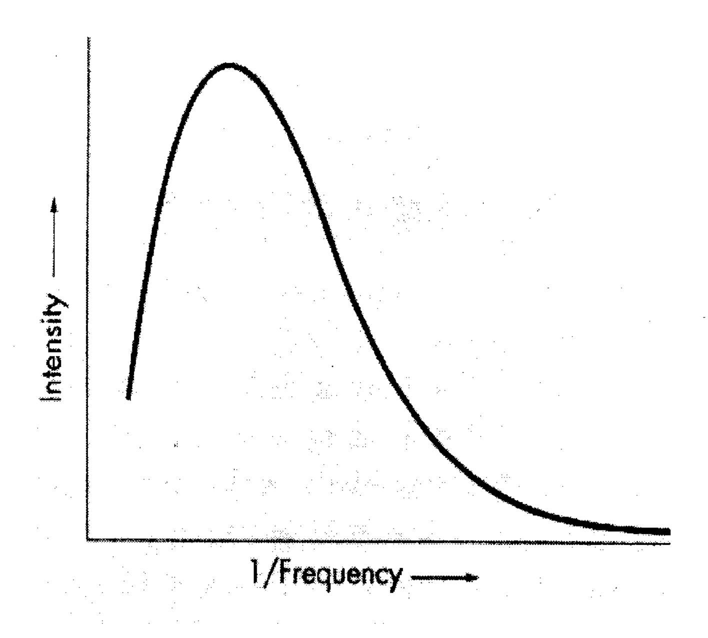
قصة الكون رجوعاً إلى الوراء (كتمرين نظري!) لنقرر أنه منذ عدة بلايين السنين كانت المجرات كلها مضغوطة في مكان واحد. ويقترح هذا أن الكون، على الأقل بالشكل الذي نعرفه، بدأ بانفجار كبير من حالة فائقة الكثافة وهي الحادثة التي تعرف الآن بالانفجار الكبير. ومن الطريف أن هذا كان في البداية مادة للسخرية قدّمها فرد هويل Fred Hoyle الذي لم يتقبل النظرية أبداً في الخمسينات. ويمكننا اليوم بواسطة الملاحظات الدقيقة بأجهزة مثل WMPA وتلسكوب هوبل الفضائي تحديد موعد دقيق للانفجار الكبير. إن التقدير الحالي الأفضل هو ١٣,٧ بليون سنة. وبالمقارنة فإن عمر الأرض هو ٤,٥٦ بليون سنة.

الضياء اللاحق للخلق

إذا كان الكون في الماضي كثيفاً جداً، فمن الواضح أنه كان أيضاً ساخناً جداً، لأن المادة تسخن عند ضغطها وتبرد عند تمددها. لكن المادة الساخنة تصدر إشعاعات حرارية (فكر في الحرارة التي تشع من الشمس أو من جمر النار المتوهج)، ولذا يمكننا أن نتوقع أن الحرارة التي تخلّفت عن ولادة الكون تغسل الفضاء الآن بتوهج باهت من الإشعاع. وبالفعل فإن الأمر كذلك. ففي عام ١٩٦٧ عثر مهندسا الراديو آرنو بنزياس Arno Benzias وروبرت ويلسون Robert Wilson اللذان كانا يعملان على الاتصال بين الأقمار الصناعية لمخابر شركة بل Bell في الولايات المتحدة على إشعاع يأتي من الفضاء حدد على أنه من البقايا المتوقعة من الانفجار الكبير. لقد أشّر ذلك الاكتشاف لنقطة التحول التي بدأ عندها العلماء أخيراً يهتمون بنظرية الانفجار الكبير. وكان الإشعاع موزعاً بشكل متساو عبر الفضاء عند درجة حرارة ٢,٧٢٥ كلفن أو حوالي – ٢٧٠ مْ – لذا لا تتوقع أن تتوهج السماء بلون أحمر داكن. ويقع الإشعاع عند درجة

الحرارة هذه، بشكل رئيس في المجال الميكروي للطيف الكهرطيسي، ولذا تعرف الحرارة من الانفجار الكبير ب (الخلفية الميكروية الكونية) والتي تختزل عادة إلى CMB.

وعلى الرغم أنه من الصعب تصور ما الذي سيكون وراء ال CMB سوى الانفجار الكبير، إلا أن إثبات نظرية الانفجار الكبيرأتى من القياس الدقيق لطيف الإشعاع (انظر الشكل ٤). إذا نظرت إلى جسم متوهّج، مثل شعلة أو نجم، فسترى أنه يصدر طاقة عبر مجال من أطوال الموجات أو الألوان. وإذا رسمت التوزّع على منحن فستحصل على ما يدعى بالطيف. إن طيف الضوء أو الحرارة الصادر عن الشمس، أو عن لهب شمعة معقد جداً، ويحتوي مخططه على قمم وتقعرات كثيرة. لكن الطيف لهذا النوع الخاص من الإشعاع الحراري له شكل بسيط ومميز وعام: إنه الطيف من فرن بدرجة حرارة متجانسة تماماً. ويدعو الفيزيائيون هذا بطيف الجسم الأسود، لأن جسماً لا يعكس الإشعاع بالكامل (يبدو أسوداً عند درجة حرارة منخفضة) سيشع الحرارة بهذا التوزع المعين للطاقة، عبر أطوال موجاته المختلفة. ومن المهم أن لل CMB طيف الجسم الأسود نفسه، كما أكدت الملاحظات من الWMAP والأجهزة الأخرى. وفي الحقيقة، فمن المعروف للعلم أن ال CMBهو المثال الأفضل لطيف جسم أسود، لأن صنع جسم أسود حقيقي، والحصول على درجة حرارة متجانسة تماماً على الأرض مستحيل. وبما أن طيف الجسم الأسود ناتج عن نظام في حالة توازن ثرموديناميكي[٢]، فإن المغزى بالنسبة لل CBM واضح: لا بد أن المادة في الكون الأولي كانت موزعة بشكل متجانس على الفضاء، بالكثافة ودرجة الحرارة نفسها في كل مكان. لقد كان طيف الجسم الأسود بمثابة المدفع المصدر للدخان والذي أكّد أن الكون بدأ من حالة حارة وكثيفة ومتجانسة، ثم تمدد بعدها وتبرّد حتى وصل إلى حالته الحالية.



الشكل ٤ طيف الجسم الأسود

يظهرالمنحني المبني من قياسات قام بها القمر الصناعي WMAP كيف أن الطاقة الحرارية المتبقية من الانفجار الكبير، موزّعة على مجال من أطوال الموجة. إن شكل المنحني مميز، ويطابق تماماً طيف الإشعاع من نظام بدرجة حرارة متجانسة. وهو يوحي بأن الموجات المكروية الخلفية نشأت في الماضي السحيق من حالة توازن ثرموديناميكية. وهي تطابق الملاحظات النظرية بدقة بحيث كانت أخطاء القياس أصغر من ثخن الخط في الشكل.

لقد تجاوزت جزءاً هاماً من القصة. فمع دوران كوكبنا حول الشمس ومع دوران الشمس حول مجرتها، ومع تجول المحرة بين جيرانها، تجد الأرض نفسها تسبح ضمن ال CBM بسرعة ٦٠٠ كم / الثانية تقريباً. وبسبب هذه الحركة النسبية تبدو السماء أسخن قليلاً في الجهة التي يصدف أننا نتحرك فيها منها من الجهة المقابلة. ومع ذلك، فعندما يطرح هذا التأثير، يبقى الإشعاع ناعماً بشكل مدهش. وحتى واحد من ١٠٠٠٠٠ تقريباً فلا يوجد اختلاف عبر السماء.

لقد عرف علماء الكون طيلة الوقت، أن من غير الممكن لل CBM أن يكون متجانساً تماماً، لأن الكون ليس متجانساً تماماً. فالمادة متراكمة في مجرات، والمجرات بدورها مرتبة في عناقيد، وعناقيد هائلة. و تظهر خرائط توزع المجرات، والتي رسمت بجهود كبيرة من قبل الفلكيين باستخدام التلسكوب الضوئي خلال العشرين سنة الماضية، تجمعاً لكل مقاييس الحجم عدا الأكبر حجماً. وبأخذ متوسط على مدى بليون سنة ضوئية، يبدو الكون نفسه تماماً في كل مكان، ولكنه على مدى مائة مليون سنة ضوئية أو أقل، شيء مختلف، حيث تبرز تجمعات المجرات بوضوح. ولو تألف الكون الأولي من غاز متجانس تماماً، لما كان هناك مثل هذه البنية. ولكن مع الزمن تتضخم حتى أصغر الشواذ في الغازات الأولية تحت تأثير الثقالة. وستسحب أية منطقة في الكون كانت أكثف بقليل أولاً مادة على حساب محيطها، وبالتالي ستزيد التضاد في الكثافة وتسرّع العملية. إن الاندفاع البطيء للغازات الأولية نحو الداخل لتشكيل تجمعات، ربما انتهى في النهاية إلى انهيار كارثي لو لم يكن الكون يتمدد، مما أدى إلى تمديد الغازات وعاكس عملية تجمعها. و تشير حسابات هذه التأثيرات المتنافسة، أنه لنمو مجرات موزعة بالشكل الملاحظ، كان لا بد للكون أن يبدأ باختلاف في الكثافة بحوالي ١ من ١٠٠٠٠٠. ولأن الغاز الأكثف مضغوط أكثر، فإنه أسخن، ولذا يؤدي عدم التجانس في الكثافة إلى عدم التجانس في درجة الحرارة. ولذا لابد أن تكون هناك اختلافات بسيطة في درجة الحرارة في الكون الأولي، إذا كان لنظرية الانفجار الكبير أن تكون متماسكة. وهذا بالضبط ما أثبتته WAMP.

لذا تدور القصة على النحو التالي. لقد بدأ الكون منذ ١٣,٧ بليون عام بالانفجار الكبير. وكان الكون الأولى على شكل غاز ساخن وكثيف ومتأين[٣] ومعتم ومغلف بالإشعاع الحراري. وكان الغاز موزعاً خلال الكون بشكل متجانس تقريباً لكنه غير كامل. وبعد حوالي ٣٨٠٠٠٠ سنة من الانفجار الكبير، برد الكون إلى بضعة آلاف درجة، وعند تلك المرحلة أزيلت شوارد الغاز (أي اندمجت النوى والإلكترونات لتشكل الذرات)، وأصبحت نتيجة لذلك

شفافة. ولم يعد الإشعاع الحراري بعد ذلك، يتأثر كثيراً بمروره خلال المادة، وأصبح منذ ذلك الوقت يتنقّل بحرية تقريباً[٤]. ولذا فعندما اكتشف الفلكيون ال CMB فإنهم كانوا يلحظون الكون كما كان بعد ٣٨٠٠٠٠ سنة بعد الانفجار الكبير. وفي الحقيقة فإن الCMB هي صورة لما كان عليه الكون عندما كان أقل من ٠,٠٠٣ بالمائة من عمره الحالي. وتمثل الاختلافات الضئيلة في درجة الحرارة التي كشفت بال WMPA بذور البنية الكونية والتي بدونها لم يكن هناك مجرات ونجوم وكواكب – أو فلكيون. ولذا فهذا واحد من تلك الحقائق (الملائمة)، التي تجعل الكون صديقاً للحياة والتي تحتاج إلى تفسير.

أين مركز الكون؟

تذكر الأوصاف الشائعة للانفجار الكبير، أنه اشتعال كرة مضغوطة من المادة موجودة في فراغ موجود قبلاً، حيث تقارن المجرات بشظايا تطير بعيداً عن مركز الانفجار. وبالرغم من سهولة فهم هذه الصورة فإنها مخادعة جداً ومصدر لخلط كبير: ويسارع الناس للسؤال «أين مركز الكون؟» إن نصّ البريد الإلكتروني الذي وصلني مؤخراً نموذج جيد عن هذا التساؤل.

هل اكتشف الدليل على تمدد الكون بالنظر في الاتجاه نفسه بعيداً عن مركز التمدد (الانفجار الكبير)، أو عن طريق النظر إلى المركز، أو من أي اتجاهات آخرى. أعتقد بأن النتائج قد تظهر بأن المجرات تتحرك بعيداً عن مركز التمدد، وعن بعضها بعضاً بسرعات متباينة [٥].

لو كان الانفجار الكبير حقاً على شكل كرة متفجرة من المادة، فستقع بعض المجرات عميقاً وسط المعمة محاطة من الجهات جميعها، بينما ستوجد الأخرى قرب حافة التجمع. ولو افترضنا أن الأمر كذلك وتصورنا المشهد من مجرة بعيدة. في أحد الاتجاهات يقع مركز الكون، وفي الاتجاه المقابل سيكون هناك فراغ. وستبدو السماء مختلفة جداً بحسب الجهة التي ينظر منها الراصد. وهذا بالتأكيد ليس ما نراه من الأرض: فالكون يبدو واحداً تقريباً في

الاتجاهات كلها. وإلى أبعد مدى يستطيع منظارنا اختراقه، والذي هو بحدود ١٣ بليون سنة ضوئية ويشتمل على حوالي ١٠٠ بليون مجرة فإن المادة موزعة بشكل متجانس (بدقة هي تجمعات المجرات الموزعة بشكل متجانس). وليس هناك أي دليل على تجمع حول أي نوع من المراكز أو بالمقابل تضاؤل باتجاه حافة.

كيف علينا إذن أن نشرح الانفجار الكبير والكون المتمدد حسب هذه الحقائق الملاحظة؟ افترض أن الكون كان مجمداً كما هو اليوم بمجرات موزعة بالتساوي خلال الفضاء (بالمتوسط). تصور الآن أننا بدأنا بلعب الفيلم الكوني مراقبين الكون وهو يتمدد. وبأخذ نظرة عين الإله، فلن يكون هناك تدفق منظم للمجرات بعيداً عن أية نقطة معينة في الفضاء. وبدلاً من ذلك تتحرك تجمعات المجرات كلها بعيداً بعضها عن بعض بالمعدل نفسه. وأينما نظرت تصبح الفجوات بين تجمعات المجرات تدريجياً أكبر: فهناك فضاء أكثر فأكثر يحيط بكل تجمع مع مرور الزمن. وسيبدو راصد في أية مجرة واقعاً في مركز نموذج من التمدد لأن كل مجموعات النجوم الأخرى تبتعد عنه، ولكنها كلها تبتعد عن بعضها بعضاً أيضاً ولذا فإن انطباع الراصد بأنه موجود في المركز خيالي. ليس هناك مركز. ولهذا السبب، فإن مصطلحي انفجار وانفجار كبير غير مناسبين، على الرغم من أننا تقيّدنا بهما الآن.

ويأتي تأكيد لهذه الصورة من عدم وجود حافة - مركز عدم وجود- من ال CBM. لو حدث الانفجار الكبير في نقطة معينة في الفضاء، فسيكون هذا الجزء من السماء متوهجاً بإشعاع أولي بينما ستكون السماء المواجهة البعيدة عن مركز الانفجار الكبير نحو الفراغ باردة. وفي الحقيقة، كما شرحت سابقاً، فإن الإشعاع الخلفي متجانس عبر السماء، عندما تتعادل الاختلافات الضئيلة في درجات الحرارة: فليس هناك ما يشير إلى أنها أسخن بشكل منتظم في جزء من السماء منها في جزء آخر.

الفضاء المتمدد

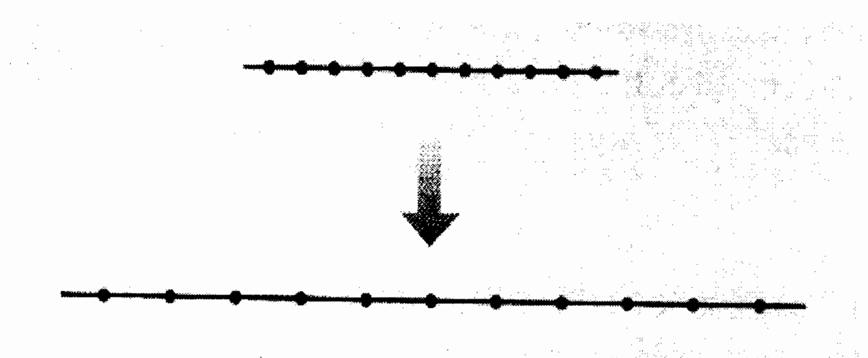
جاهد علماء الكون لإيجاد طرق يشرحون فيها تمدد الكون بلغة بسيطة. وفيما يلي بعض المحاولات الشائعة :

الفضاء في الكون بدلاً من الكون في الفضاء

حدث الانفجار الكبير في كل مكان، وليس في نقطة ما من الفضاء

كان الانفجار الكبير انفجاراً للفضاء، وليس انفجاراً في الفضاء

وقد تساعد مقارنة بسيطة بتصور وتر مرن طويل جداً، وحبات متصلة به على مسافات منتظمة (انظر الشكل٥). فعندما يمدّ الوتر المرن، تبتعد الحبات عن بعضها بعضاً. وتمد كل حبة المسافة التي تفصلها عن جاراتها، بحيث أن المنظر من أية حبة هو لحبات أخرى تبتعد عنها. كل الحبات متساوية: فليس هناك حبة مركزية.



الشكل ٥ الكون المتمدد

في هذه المقارنة ذات البعد الواحد، يمثل الكون المتعدد بوتر مرن (يمثل الفضاء) وبحبات (تمثل المجرات) ملصقة به على مسافات. مع مد الوتر المرن، تتحرك كل حبة بعيداً عن الحبات الأخرى. إن المنظر من أية حبة هو نفسه: كل الحبات الأخرى تبدو وهي تتحرك بعيداً بسرعات تتناسب مع مسافاتها. وما دمنا لا نستطيع رؤية أي طرف من الوتر تبدو الحبات كلها متساوية: ليس هناك مركز ولا حافة واضحة من توزع الحبيبات أو نموذج حركتها.

وتعمل المقارنة بشكل أفضل، إذا تصورت الفضاء نفسه مرناً وقادراً على أن يمدد. وبالفعل، فإن فكرة مدّ الفضاء ليست مجرد مثال: بل هي أقرب مما يعتقد الفيزيائيون أنها الحقيقة. إن قدرة الفضاء على المد، وعلى الانحناء أو اللف، هي أساس النظرية النسبية العامة لألبرت آينشتاين. وبالنظر إليها على هذا الشكل، فإن تمدد الكون ليس مجرد انتقال المجرات عبر الفضاء كمد الفضاء أو انتفاخه بين المجرات، وهي صورة تقود لوصف شائع آخر:

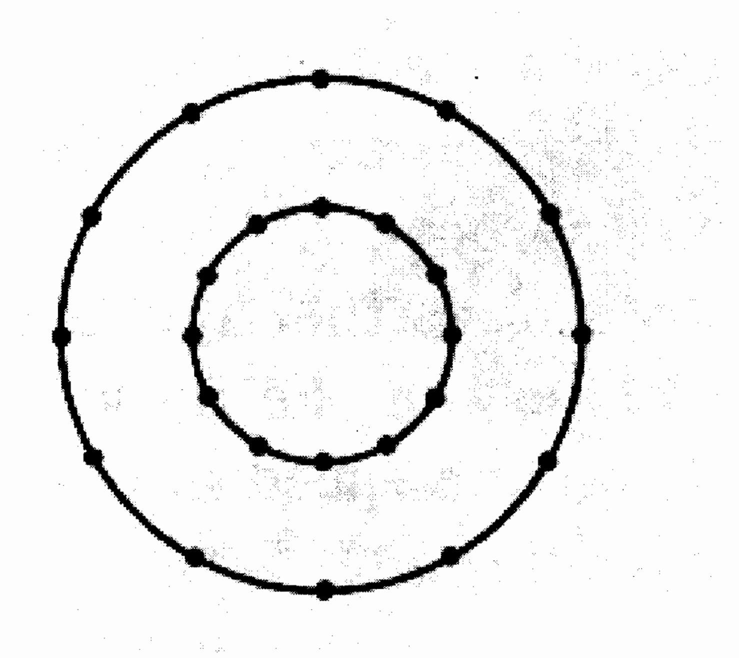
يشبه الكون المتمدد فطيرة الكرز التي تنتفخ في الفرن، حيث تلعب الكرزات دور المجرات، وتمثل الفطيرة الفضاء.

وسيلاحظ القارئ المنتبه خدعة في مثال الوتر المرن، لأن الأوتار الحقيقية لمادة مرنة محدودة الطول، ولذا ستكون هناك دوماً حبات قرب الطرف وأخرى قرب المركز. ومع ذلك فالمهم أنه لو كان عدد الحبات كبيراً جداً (بلايين البلايين مثلاً) وإذا كانت الرؤية من حبة معينة لا تمتد إلى نهاية طرف الوتر، فلن يكون هناك ذكر لمركز أو طرف في ترتيب الحبات في أي مكان. لكن هذا الخدعة تثير السؤال الواضح، فيما إذا كان عدم ظهور مركز أو حافة في الكون الحقيقي ناتج عن أن مناظيرنا ليست قوية بما يكفي للاستكشاف إلى تلك الأبعاد. ربما كان الأمر كذلك. وربما كان الكون المرصود مدفوناً في تجمع مجرات، والتي إذا نظر إليها على مقياس أضخم لها حافة. (ربما لن يكون لها مركز واضح ما لم يكن التجمع كروياً تقريباً). وإذا كانت الحافة بعيدة بما يكفي، فلن يظهر عدم تناظر الإشعاع الحراري حتى الآن، لأنه ليس هناك وقت كاف منذ الانفجار الكبير للإشعاع الحراري النهائي المتخافت، وهو يسير بسرعة الضوء، ليصل إلينا من الحافة.

ومن جهة أخرى، فقد لا يكون الكون كذلك على الإطلاق. فقد يكون لا متناهياً في كل الاتجاهات. وأذكر جيداً عندما كنت في حوالي الثامنة

من عمري، أنني سألت والدي أين انتهى الكون. وقد أجابني بأنه لا يمكن أن تكون للكون نهاية، لأنه لو كانت له نهاية، فسيثار السؤال التالي حول ما يقع وراء آخر نقطة. وهذه حجة قديمة، ولكن قد تكون مخطئة كما سأشرح لاحقاً. وبالتأكيد فقد لا يكون هناك سبب منطقي لماذا لا يكون الكون لا متناهياً وأن تكون هناك مجرات في كل مكان. سيكون هناك عدد لا نهائي من المجرات، موزعة بشكل متجانس في مجموعات كما نراها تمتد عبر كون لا متناه. إن هذا هو الافتراض الأولي الأبسط: إن ما تراه هو ما تحصل عليه في كل مكان. وفي مناقشات بنية الكون، يشار إلى افتراض التجانس هذا **بالمبدأ الكوني**. إنه تطبيق لمبدأ أكثر شمولاً يدعى بمبدأ الاعتيادية mediocrity – وهو أن **لا شيء مميز أو مبجل حول موقعنا في الكون.**

وبالمخاطرة في تشويش أفكارك، لا بد أن أقول بأن المبدأ الكوني لا يعني بالضرورة كوناً لا متناهياً، فمن الممكن أن يكون للكون حجم محدد دون أن يكون له مركز أو حافة. ومن الممكن لهذه المواصفات المتناقضة ظاهرياً أن تظهر، إذا سمحنا لاحتمال فضاء ملتف. ودعني أشرح ذلك بمد مقارنة الوتر المرن. افترض أن الوتر على شكل لفة دائرية ضخمة جداً، تمتد إلى قطر أكبر فأكبر، كما في الشكل ٦. تلصق الحبات على مدار الملف على مسافات متساوية. ليست هناك حبات في النهاية أو حبة مركزية: فكل الحبات متساوية تماماً، ومع ذلك تبتعد كل الحبات عن الحبات الأخرى كلها مع تمدد الملف المرن. إن هذا مثال لكون من حبات محدودة ولكنها غير محاطة، جعل ممكناً بالسماح «للفضاء» المرن أن يغلق على شكل حلقة. وسأشرح لاحقاً كيف يمكن لفضاء حقيقي ثلاثي الأبعاد، أن يغلق بهذه الطريقة. ولكن هناك قبل ذلك موضوع أكثر إلحاحاً يجب معالجته.



الشكل ٦: فضاءات مغلقة

من الممكن لفضاء ثلاثي الأبعاد أن يكون محدوداً. تصف اللفة الدائرية المرنة، ببعد واحد نوعية المكان المغلق، ومع ذلك بدون مركز أو حافة (أي لا يوجد مركز أو حافة، على أية نقطة على اللفة). ومع تمدد «الكون»، تمتد اللفة إلى قطر أكبر بدون أن تغير في خاصة اللامركز واللاحافة.

سرعة الضوء والمنظر من كوكب الأرض

عندما يحدّق الفلكيون نحو السماء بمناظرهم، يرون أجساماً بعيدة لا كما هي الآن، ولكن كما كانت عندما بدأ الضوء الذي يصل إلى مناظرهم رحلته عبر الفضاء. وبهذا المعنى فالمنظار هو أيضاً عدّاد للزمن. وعلى سبيل المثال، لو انفجر نجم قريب البارحة فلن نشعر لحسن حظنا بذلك لسنوات حتى تصل نبضة الضوء التي تعلن موت النجم إلى الأرض. وإذا نظرنا أبعد

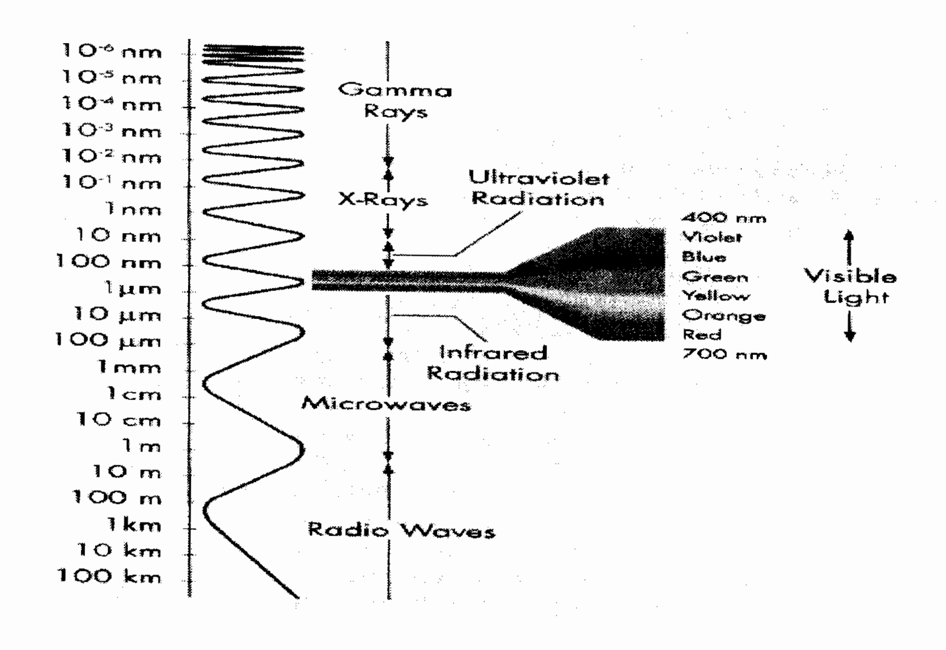
من ذلك، نرى نجوماً في مجرة اندروميدا المجاورة، كما بدت منذ حوالي ٢,٥ مليون سنة ماضية. وبالتالي تبدو المجرات الأبعد أقدم. ويسجل منظار هوبل الفضائي بشكل روتيني صوراً لمجرات، كما كانت قبل أن توجد الأرض بكثير. ويمكن بالفعل رؤية أقدم المجرات وهي لا تزال في مرحلة التكوّن منذ أكثر من ١٢ بليون عام. ولذا باختراق الفضاء أبعد فأبعد، يمكن للفلكيين أن يراقبوا تاريخ الكون وهو يتشكل رجوعاً إلى الوراء. وقد يسافر الضوء بسرعة ولكن سرعته مع ذلك محدودة – وهي حقيقة تترتب عليها نتائج هامة حول طبيعة الكون، كما سنرى لاحقاً.

ومع عبور الضوء للفضاء المتمدد، فإن طول موجته تمتد مع امتداد الفضاء. ولأن الموجات الأطول تبدو أكثر حمرة، يشار إلى هذا التأثير ب (الانزياح الأحمر). لقد نبهت حقيقة كون المجرات الأبعد أكثر احمراراً من القريبة ادوين هوبل في العشرينات إلى فكرة تمدد الكون. وهذا هو التأثير نفسه الذي يؤدي إلى تبريد الإشعاع الحراري الكوني الخلفي.

يعتمد مقدار الانزياح الأحمر على مدة إصدار الضوء أو (بعد النجم). وبالرجوع نحو الانفجار الكبير، يصبح الانزياح الأحمر أكبر فأكبر. وليس من غير الشائع هذه الأيام، أن نرى صوراً لمجرات (أو أشباه نجوم – قلوب الطاقة لبعض المجرات التي غيّرت بعنف) وقد امتد طول موجتها الأصلية إلى ضعف أو ثلاثة أمثال طول موجتها الأصلية، ولذا ستكون المسافة بيننا وبين تلك المجرات قد ازدادت كثيراً خلال المدة التي استغرقها الضوء ليصل إلينا. وبالرجوع أكثر للوراء في الزمن (وبعيداً في الفضاء)، نصل إلى الحقبة التي صدر منها ال CBM .لقد كانت درجة الحرارة في ذلك الوقت حوالي ٣٠٠٠ كلفن، وبالتالي كانت حارة بما يكفي لإصدار إشعاع في المجال فوق

البنفسجي من الطيف الكهرطيسي (انظر الشكل ٧). ويتناسب هذا مع انزياح أحمر بحوالي ١١٠٠، وهو كبير بما يكفي ليمد طول الموجة من فوق البنفسجي عبر المرئي وتحت الأحمر، إلى منطقة الموجة الميكروية من الطيف الكهرطيسي. ولذا فما أصدر على شكل إشعاع حار فوق بنفسجي، يظهر لنا اليوم على أنه موجات ميكروية (أبرد) بسبب عامل التمدد الكبير للكون في الفترة الفاصلة.

وكما ذكرت فقد انتقل ال CBM إلى الأرض بدون تدخل تقريباً منذ حوالي ٣٨٠٠٠٠ سنة بعد الانفجار الكبير. وقبل ذلك الوقت، كانت درجة الحرارة مرتفعة جداً لتوجد الذرات، لأن الإلكترونات انفصلت عن النوى بسبب الحرارة الشديدة، أي أن الذرات قد تأينت. وبشير الفيزيائيون إلى الغاز بهذه الحالة على أنه بلازما. وتشتت **البلازما** الضوء بشدة وبالتالي فهي معتمة: ولهذا السبب لا نستطيع على سبيل المثال أن نرى داخل الشمس، من خلال الوهج السطحي. لذا فعندما يكتشف WMAP ال CBM فإنه في الواقع يرى أبعد ما يمكن في الزمن بواسطة الموجات الكهرطيسية[٦]. ولا يستطيع منظار عادي أو هوائي ميكروي، مهما كان قوياً، أن يخترق الضباب المتوهج وراء ذلك. ومع ذلك، يمكننا التظاهر بأن الغاز غير موجود هناك، و نحسب ما سيكون مقدار الانزياح نحو الأحمر في حقب سابقة، لو توفر لدينا منظر غير محدود. بعد ١٠ ثوان من الانفجار الكبير، سيكون الانزياح نحو الأحمر بليوناً تقريباً، وبعد ثانية سيكون أكثر من ثلاثة بلايين. ويزداد الانزياح نحو الأحمر بدون حدود، مع الاقتراب من لحظة ميلاد الكون. ولو أمكن لموجة مرئية بعد واحد على ألف من الثانية بعد النافجار الكبير أن تصل بمعجزة إلى الأرض الآن، فإن طول موجتها سينزاح بشدة نحو الأحمر، بحيث يلتقط على شكل موجة راديوية طويلة.



الشكل ٧ الطيف الكهرطيسي

يمكن أن يكون للأمواج الكهرطيسية أي طول موجة. وعلى الرغم من أن لها الظاهرة نفسها، فإن الاسم الذي نطلقه عليها، يعتمد على طول الموجة – المبين هنا بوحدات تتراوح من النانو متر مروراً بالميكرو متر وحتى الكيلو متر. ويسبب الانزياح الأحمر الناجم عن تمدد الكون، يمتد طول موجة الإشعاع الصادر في المنطقة فوق البنفسجية من الطيف حوالي ٣٨٠٠٠٠ عام بعد الانفجار الكبير إلى المنطقة الميكروية من الطيف في الزمن الذي استغرقه للوصول إلينا.

في الفضاء أفق

لا يمكننا أن نرى ما وراءه

إلى أي مدى نحو الوراء يمكن لنا أن نمد فكرة الانزياح الأحمر؟ إذا كانت لحظة الانفجار الكبير تنتمي إلى حالة من الانضغاط اللامتناهي

(سأناقش هذا الموضوع بتفصيل أكبر لاحقاً)، فسيزداد الانزياح نحو الأحمر بدون حدود، مع إصدار الضوء في لحظات أبكر فأبكر. وسيكون الضوء الصادر من الانفجار الكبير نفسه، منزاحاً نحو الأحمر بشكل لا متناه – هذا إذا كان ممكناً أن يصل إلينا على الإطلاق. ويعني الانزياح الأحمر اللامتناهي أننا فعلاً لن نرى شيئاً أبداً: فلن يقدم الإشعاع أية معلومات. وهذا بوضوح حد أساسي: لا نستطيع أن نرى أبعد من هذه النقطة في الفضاء، أومن تلك اللحظة من الزمن. ويشير علماء الكون إلى هذا الحد على أنه أفق. إن لحظة الانفجار الكبير في هذه الصورة المبسطة والمثالية، هي أفق في الفضاء لا يمكننا أن نرى وراءه، حتى من حيث المبدأ، مهما كانت قوة أجهزتنا (وبإهمال عتمة المادة). إن إحدى الطرق للتعبير عن هذا الحد، هي أن نشير إلى أنه منذ مضي ٣,٧ بليون عام على الانفجار الكبير، يمكن للضوء أن يكون قد انتقل ١٣,٧ بليون سنة ضوئية على أبعد تقدير، وبالتالي فليس من المستغرب أنه لا يمكننا أن نرى ابعد من ذلك. ومع ذلك يجب معالجة مثل هذه التصريحات بحذر. فعندما نرى مجرة على بعد ١٣ بليون سنة ضوئية، فإننا في الواقع نراها حيث كانت منذ ١٣ بليون سنة. أما اليوم، فإن هذه المجرة أبعد بكثير لأن الكون تمدد كثيراً خلال الفترة الفاصلة. ولذا تعتمد المسافة إلى المجرة على إذا ما كنا نتحدث عن المسافة المقطوعة (أي المسافة التي كانت عليها المجرة عندما صدر ضوءها، ناظرين إلى الوراء). أو المسافة الحالية. إن أبعد المجرات التي يمكننا رؤيتها باستخدام منظار هوبل موجودة الآن على بعد ٢٨ بليون سنة ضوئية من الأرض[٧].

وغالباً ما يبرز خلط آخر عند هذه المرحلة من النقاش. وسيسأل الناس لماذا علينا – إذا كان الكون قد بدأ متقلصاً جداً في الحجم – أن ننتظر سنوات عديدة جداً ليصل الضوء إلينا من مناطق في الكون كانت أقرب كثيراً في الزمن السحيق. لماذا لم يعبر الضوء من هذه المناطق الكون المضغوط بسرعة ويصل إلى منطقتنا منذ زمن طويل؟ ويتعلق الجواب على هذا السؤال بسرعة تمدد الكون. فمع انتقال الضوء عبر الفضاء فإنه يطارد المجرات

التي تبتعد عن مصدر الضوء. وللتعبير عن هذا بطريقة أخرى، حتى مع عبور الضوء للفضاء، فإن الكون نفسه يتمدد أسرع منه، بحيث تشبه نبضة الضوء عداء يعدو فوق دولاب. ونتيجة لذلك يصبح زمن الرحلة ممتداً جداً.

وللأفق أهمية أبعد من مجرد إنقاص رؤيتنا للكون. فهو دعامة أساسية لنظرية النسبية التي تقول بأنه لا يمكن لجسم أو تأثير فيزيائي أن تتجاوز سرعته سرعة الضوء (انظر الصندوق ١) ولذا فإن حدثاً يجرى وراء أفقنا، ليس من غير الممكن رؤيته فقط، ولكن لا يمكنه أن يمارس علينا أي تأثير فيزيائي في هذا الوقت، والعكس صحيح. وكما سنرى فقد تبين أن هذا القيد على عمل السبب والتأثير عنصر هام في محاولاتنا لفهم بنية الكون.

تعاريف مختلفة « للكون»

يدخل وجود أفق ضوئي قدراً كبيراً من التشويش على ما نعنيه بكلمة كون. وبعض المؤلفين للأسف غامضون حول هذا المصطلح ولذا يجب أن أكون أكثر تحديداً وهذا ما سأفعله.

الصندوق ١ لماذا يحدد الضوء السرعة الكونية العظمى

لماذا لا يمكن لأي شيء أن يسافر أسرع من الضوء؟ إن إحدى الطرق لمقاربة هذا السؤال هو أن تسأل ما الذي سيحدث إذا حاولت أن تجعل جسماً مادياً يحطم حاجز الضوء. يمكن إجراء هذه التجربة بجسيمات مشحونة تحت ذرية كالالكترونات يمكن تسريعها في مسرّع الجسيمات إلى سرعات تقترب من سرعة الضوء.

بحسب نظرية النسبية الخاصة لآنيشتاين التي نشرت عام ١٩٠٥ فإن كتلة الجسيم تعتمد على سرعته. وينتج هذا من العلاقة $E=mc^2$ الشهيرة حيث c سرعة الضوء. يرتبط بالحركة نوع من الطاقة (تدعى الطاقة الحركية) وتخبرنا العلاقة أن للطاقة E كتلة m. ولأن للجسم المتحرك طاقة أعلى من الجسم الساكن

يجب أن تكون له بالتالي كتلة أكبر. وبالنسبة للسرعات العادية فإننا لا نلاحظ أن الأجسام المتحركة أثقل من الأجسام الساكنة – فالعامل c^2 في العلاقة يشير إلى أن المقادير العادية للطاقة الحركية تساهم بجزء ضئيل فقط من الكتلة المضافة. ولكن عند سرعات قريبة من سرعة الضوء، فإن كتلة الطاقة الحركية تقارب الكتلة في الحالة الساكنة. فعند ٨٧% من سرعة الضوء، تزن الكتلة الناجمة عن الطاقة الحركية أكثر من الكتلة في الحالة الساكنة. وعند سرعات أعلى من ذلك، تزداد الكتلة الكلية بسرعة كبيرة. ولذا فإن ما يحدث هو حالة من المردود المتناقص. فجزء أكبر وأكبر من الطاقة المصروفة على محاولة تسريع الجسيم يذهب إلى جعله أثقل، وبالتالي يذهب جزء أقل فأقل لجعله أسرع. ومع الاقتراب من سرعة الضوء تزداد كتلة الجسيم بدون حدود، بحيث لا يمكن زيادة سرعته أكثر من ذلك. ولذا من المستحيل تحطيم حاجز الضوء. وبالنسبة للمصطلحات تدعى كتلة الجسيم في حالة السكون بالطبع كتلته الساكنة. أما الكتلة الكلية للجسيم المتحرك فتدعى كتلته النسبية التي تتألف من كتلته الساكنة إضافة إلى الكتلة الناجمة عن حركته. وعندما يشير الفيزيائيون ببساطة إلى «كتلة» جسيم فإنهم عادة يعنون بذلك الكتلة الساكنة. ويقال بأن كتلة الفوتون الساكن تعادل الصفر، ولكنه لا يمكن أن يكون إطلاقاً في حالة سكون : فهو يتحرك دوماً بسرعة الضوء. وبالتالي فهو بالتأكيد يمتلك كتلة نسبية لا تعادل الصفر (تتناسب في الحقيقة مع تردده).

إن العبارة المرسلة التي تقول بأنه «لا شيء يمكنه أن يسافر أسرع من الضوء» خادعة قليلاً. فالنسبية الخاصة تحظر على أي جسم مادي أن يتجاوز جسماً آخر بسرعة أعلى من سرعة الضوء. ولكن النسبية الخاصة جزء محدود من النظرية النسبية العامة: فالنظرية الأخيرة تأخذ الثقالة بعين الاعتبار، وتسمح بأشياء مثل تمدد المكان. وفي هذه الظروف يتم تجاوز قاعدة «أن لا شيء أسرع من الضوء». فالمجرات البعيدة على سبيل المثال يمكن أن تتراجع عنا بسرعة أكبر من سرعة الضوء. ولا يناقض هذا الأمر القاعدة كما تطبق ضمن النسبية الخاصة التي تشير إلى وضع خاص وليس إلى الحركة الكلية للكون.

الكون المرصود

يشمل هذا الكون بكامله وما يحتويه إلى أبعد مدى يمكن لأجهزتنا أن تصل إليه. ومنذ قرن من الزمان كان الكون المرصود يتألف من أكثر بقليل من مجرتنا وجيرانها القريبين، ولكن مع تطوير مناظر أقوى يمكن لعلماء الفلك اليوم أن يروا تقريباً حتى الأفق. وفي هذه الأيام يتطابق الكون المرصود مع التعريف التالي:

الكون المرصود

إذا أخذنا بعين الاعتبار أننا لا نستطيع أن نرى أبعد من الأفق فإن الكون المرصود يعني «كل شيء يقع ضمن الأفق». ومع الزمن يتمدد الكون، وبعد بليون عام سيصبح نصف قطره ١٤,٧ بليون سنة ضوئية. ولذا فإن ما نعنيه بالكون الممكن رصده يعتمد على اللحظة التي نراه فيها[٨]. إن حقيقة وجود أفق لا يعني أن هناك فراغاً وراءه[٩]. ويمكنك تخيل الأفق على شكل سطح كرة خيالية بنصف قطر ١٣,٧ بليون سنة ضوئية مركزها الأرض وتتحرك في الاتجاهات جميعها بسرعة الضوء وتحدد مدى حدود رؤيتنا ولو من حيث المبدأ. وليس هناك شيء خاص بهذا الصدد بالنسبة للأرض: فكل نقطة في الكون لها أفقها الكروي الخاص بها حولها والذي قد يتقاطع مع أفقنا. ومع ذلك لاحظ، أنك إذا نقلت فوراً إلى مجرة x تبعد ٨ بليون سنة ضوئية عن الأرض، فإن الأفق حول المجرة سيمتد إلى مناطق في الفضاء لا يمكننا نحن على الأرض أن نراها في هذا الوقت. ولا نعلم ما يقع أبعد من أفقنا الكوني، ولكن من المعقول الافتراض أنه شيء أكثر من المادة نفسها، وأن المنظر من المجرة x يجب بالتالي أن لايختلف كثيراًعن منظرنا. إن أبسط افتراض هو أن المنطقة من الفضاء الواقعة ضمن أفقنا هي نموذج للكل: وهذا هو مرة أخرى أساس مبدأ الاعتيادية. وإذا كان الأمر كذلك فيمكننا أن نصوغ تعريفاً ثالثاً.

الكون الكلي

يتضمن هذا الكون كله (ربما لا متناه) ضمن أفقنا وأبعد منه مع كل محتوياته على افتراض أن الكون المرصود نموذج للكل. وسنرى لاحقاً، أن هذه النظرة المبسّطة للكون المبنية على تطبيق مبدأ الاعتيادية بدون نقد، أصبحت الآن موضع انتقاد، مما يقودنا مرة أخرى إلى تعريف آخر.

الكون الجيبي

يمثل هذا المنطقة في الفضاء الممتدة إلى أبعد مسافة، بحيث تشبه الكون المرصود الذي نراه اليوم. (والذي يمكن أن يمتد إلى مكان بعيد جداً – وبالفعل أبعد بكثير من أفقنا). ولكن إذا كنا نسكن في كون جيبي[١٠] فستكون هناك حدود في مكان ما، بعيدة بعيدة جداً، حيث تبدو الأشياء بعدها مختلفة جداً. ولكن ستكون هناك أكوان جيبية أخرى موزعة بعيداً في هذه المنطقة وراء الأفق يشبه بعضها كوننا ولكن معظمها تختلف عنه. ولذا فمن المحتمل أن كوننا الجيبي غير نموذجي مما يعني فشل مبدأ الاعتيادية إذا اعتبرنا مجموعة الأكوان الجيبية بكاملها. ويقودنا هذا إلى التعريف الأخير.

الكون المتعدد

بشكل تقريبي، فإن هذا يعني مجموعة الأكوان الجيبية كلها (والتي قد يكون عددها لا نهائياً) مع الفجوات فيما بينها. ويفضل بعض المؤلفين مصطلح **الكون الضخم**. وسيكون لدي الكثير لأقوله حول الكون المتعدد في الفصول اللاحقة.

الكون المحني

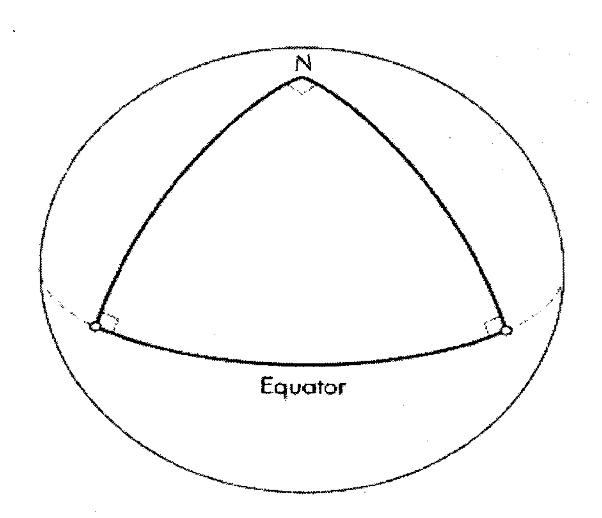
ركّزت حتى الآن على الاكتشافات الفلكية. ولكن علم الكون لن يكون علماً حقيقياً، إذا لم يحتو على إطار من النظرية الفيزيائية يمكن فهم هذه الاكتشافات ضمنها. لقد وضع الأساس النظري لعلم الكون الحديث منذ حوالي

قرن من قبل آينشتاين في نظرية النسبية العامة. نشرت النظرية عام ١٩١٥ في الأيام المظلمة للحرب العالمية الأولى ولكن هذا لم يمنع الفلكيين والفيزيائيين على طرفي الصراع حولها من الاهتمام الشديد بما تتنبأ به بالنسبة لعلم الكون. لقد صممت نظرية النسبية العامة أو النسبية العامة كما تلخص عادة لتحل محل نظرية نيوتن في القرن السابع عشر في الثقالة. وفي علم الكون، فإن الثقالة هي القوة المسيطرة التي تهيمن على كل القوى الأخرى، بسبب الكتلة الكبيرة للكون، ولذا يلجأ علماء الكون إلى نظرية الثقالة لفهم الكون المتمدد.

كمنت عبقرية آينشتاين في ملاحظة، أنه على الرغم من أن الثقالة تظهر نفسها كقوة، إلا أن من الممكن أيضاً فهمها بطريقة مختلفة تماما على أساس (الهندسة المحنية). ودعني أشرح ما يعنيه ذلك. ترجع قواعد الهندسة التي نتعلّمها في المدرسة إلى أيام اليونان القدماء: وعادة ما تسمى الهندسة الإقليدية نسبة إلى إقليدس الذي دوّنها جميعها. وهناك نظريات عدة معروفة يمكن البرهان عليها من قواعد إقليدس مثل النظرية الشهيرة لفيثاغورس. والنظرية الأخرى المعروفة جيداً هي أن مجموع زوايا المثلث يساوي زاويتين قائمتين. إن هذه الخصائص للخطوط والدوائر والمثلثات...الخ مضبوطة، ولكنها تأتي مع شرط هام: فهي تطبق على السطوح المستوية. إن النظرية تعمل جيداً على السبورة والأوراق على مقاعد الدراسة ولكنها لا تعمل على السطوح المحنية أو الملتفة كالكرات. ويدرك الملاحون والمرشدون هذا جيداً ولذا عليهم استخدام قواعد هندسية مختلفة للتعامل مع انحناء الأرض. وعلى سبيل المثال يمكن للمثلث على سطح الأرض أن يحتوي ثلاث زوايا قائمة (انظر الشكل ٨).

إذا كانت السطوح ثنائية البعد يمكن أن تكون إما مستوية (الهندسة الإقليدية) أومحنية (هندسة لا إقليدية). ألا يمكن للفضاء ثلاثي الأبعاد أن يكون

له أيضاً إما هندسة إقليدية مستوية أو هندسة محنية؟ لقد افترض الجميع تقريباً قبل آينشتاين، أن للفضاء هندسة إقليدية «مستوية»، تستمد مباشرة من القواعد التي تعلمناها على ثنائي الأبعاد. ولكن ليس هناك سبب منطقي لكي تكون كذلك. لقد لعب بعض رياضيي القرن التاسع عشر على فكرة أن هندسة الفضاء ثلاثية الأبعاد يمكن أن تكون حالة عامة لهندسة السطوح المحنية. وقد استنتجوا القواعد الهندسية لهذا «الكون المحني»، ولكنها في الوقت نفسه عوملت على أنها مجرد لعبة رياضية. لقد تغيّر كل هذا مع النسبية العامة. واقترح آينشتاين أن حقل الثقالة يمكنه أن يلفّ الفضاء ثلاثي الأبعاد مما يستدعي بالضرورة استخدام الهندسة اللاقليدية لوصفه.



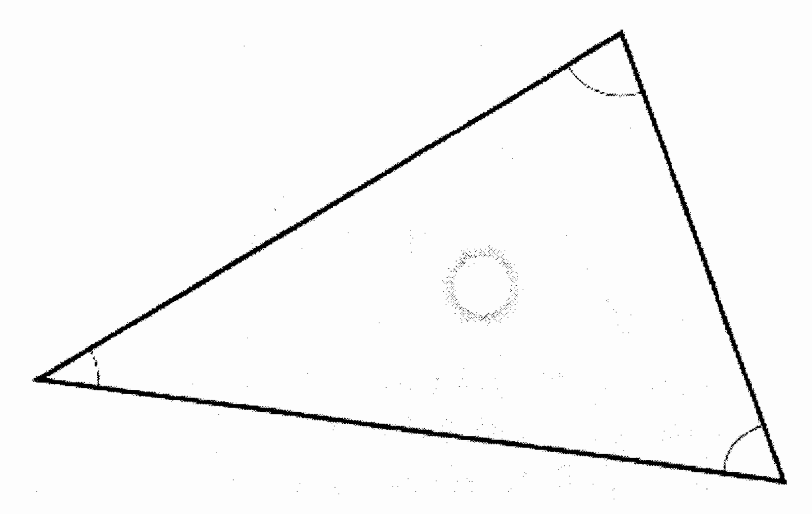
الشكل ٨ الفضاء المحني

تختلف قواعد الهندسة على سطح كروي من تلك على سطح مستو. وعلى سبيل المثال، يمكن للمثلث أن يحتوي ثلاث زوايا قائمة - مثل هذا المثلث على سطح الأرض، حيث تكون قمته في القطب الشمالي وقاعدته على طول خط الاستواء. إن السطح الكروي ثنائي البعد الممثل هنا مماثل لفضاء منحن ثلاثي الأبعاد.

ما هو الفضاء المحنيّ إذن؟ إن إحدى الطرق لتخيّله هي التفكير في مثلث مرسوم حول الشمس (انظر الشكل ٩). ومن الضروري أن يكون هذا المثلث مثلثاً مستوياً (أي يقع على سطح مستو). الآن قس الزوايا وأضفها إلى بعضها بعضاً. إذا كانت هندسة إقليدس تنطبق على هذا الوضع فستكون النتيجة ١٨٠°. لكن آينشتاين ادّعى أن الجواب يجب أن يكون أكبر من ١٨٠° بقليل على الرغم من أن المثلث مستو لأن حقل الثقالة للشمس يلف هندسة الفضاء ثلاثية الأبعاد حولها. ويمكن إجراء هذه التجربة فعلاً (قليلاً أو كثيراً) بارتداد أمواج الرادار من سطح الزهرة والمريخ وإجراء حساب المثلثات. لقد نتج أن آينشتاين كان على حق. فالفضاء محني حقاً وليس مستوياً (وهناك طرافة مصطلحية هنا: فعندما يتحدث علماء الكون عن فضاء «مستو» فإنهم لا يعنون بذلك فضاءاً سوياً على شكل فطيرة، ولكن فضاءاً ثلاثي الأبعاد بهندسة إقليدية. وتوصف الهندسة المحنية بالقرب من الشمس أحياناً بالقول إن ثقالة الشمس تحني أشعة الضوء التي تمر بالقرب منها. وفي هذه الحالة سيكون للمثلث زوايا مشوهة لأن أضلاعه ليست مستقيمة. هذا صحيح: وهي طريقة معادلة للتفكير بفضاء محني مع نقطة هامة، وهي أن الأضلاع غير المستقيمة هي فعلاً أكثر الخطوط التي يمكن رسمها استقامة في الهندسة المحنية ولذا فليست المسألة مجرد جعل أشعة الضوء المحنية مستقيمة واسترجاع نتائج إقليدس. فالفضاء محني بشكل لا رجوع عنه، ولا يمكن لأي قدر من المحاولات أن تجعله يتّبع قواعد الهندسة الإقليدية.

إن انحناء الفضاء حول الشمس بالرغم من إمكانية كشفه إلا أنه صغير جداً. وقد أكد الفلكي الإنكليزي آرثر إيدنكتون Arthur Eddington وجوده وقاس انحناء الضوء بملاحظة الانحراف الضئيل في مواقع النجوم في البقعة نفسها من السماء كالشمس أثناء الكسوف الكلي للشمس عام ١٩١٩. لقد انحنت أشعة ايدنكتون النجمية بالمقدار نفسه الذي تنبأت به النسبية العامة وقد أوصل هذا البرهان المؤثر نظرية آينشتاين إلى الشهرة. إن انحناء الفضاء ضئيل لأن حقل ثقالة الشمس ضعيف بالمقاييس الفلكية. ونعلم اليوم أن هناك

أجساماً أخرى في الفضاء بحقول ثقالة أكبر بكثير تحني الضوء بشكل أكبر. ويحدث مثال بارز على ذلك عندما تضع مجرة نفسها بين الأرض ومنبع ضوئي أبعد. وتحت هذه الظروف تحني المجرة الضوء حولها في كل الاتجاهات مثل عدسة مسببة تشويه خيال المنبع الضوئي البعيد ليكون على شكل قوس. وفي بعض الأحيان يشكل الخيال حلقة كاملة، تدعى بشكل ملائم حلقة آينشتاين. ويحدث أكبر حني للضوء – أو طي للمكان– حول ثقب أسود. وفي هذه الحالة فالمكان المحني قوي جداً بحيث يحصر الضوء فعلاً بشكل كامل مانعاً إياه من الهروب.



الشكل ٩: انحناء المكان حول الشمس

إذا رسم مثلث مستو حول الشمس، فإن مجموع زواياه ستكون أكبر من ١٨٠° بقليل لأن حقل ثقالة الشمس يشوّه شكل المكان بالقرب منها. إن الطريقة المكافئة للتفكير بهذه الظاهرة هي أن أضلاع المثلث هي أكثر الخطوط الممكنة استقامة في الهندسة المحنيّة. لو وجهت أشعة ضوئية على طول أضلاع المثلث فسيبدو للمتلقّي على الطرف البعيد من الشمس أن الأشعة قد انحنت قليلاً بتأثير ثقالة الشمس.

بسّطت الشرح السابق من زاوية هامة. ففي نظريته الأسبق التي تدعى النسبية الخاصة والتي نشرت عام ١٩٠٥ أوضح آينشتاين أن المكان متصل بالزمان بطريقة تجعل من الطبيعي اعتبار الجزمة الكاملة – زمان مكان – مع بعضها بعضاً. فالمكان له ثلاثة أبعاد، والزمان له بعد واحد، مما يجعل الحزمة ذات أربعة أبعاد[١١]. وقد اكتشف هيرمان مينلوفسكي Hermann Minlofwski أحد أساتذة آينشتاين في الرياضيات كيف يعدّل قواعد الهندسة الإقليدية ليصف الزمكان رباعي الأبعاد. وعندما تابع آينشتاين عمله ليعمم نظريته النسبية عام ١٩١٥ لتشمل الثقالة اقترح أن الزمكان هو المحنيّ وليس المكان فقط. قد تعني هندسة الزمكان المشوهة مكاناً محنياً أو زماناً محنياً أو الاثنين معاً. لقد أهملت في نقاشي السابق حول حني المكان حول الشمس عامل الزمان. ولكن هذا هام وقد قيس حني الزمان الضئيل حول الشمس أيضاً. وفي الحقيقة يمكن قياس حني الزمان الأرضي الأصغر أيضاً والذي يتجلى بحقيقة أن الساعات تسير بسرعة أكبر بمقدار ضئيل جداً عند ارتفاعات عالية – على جبل مثلاً – منها عند سطح البحر(للمزيد حول اختبارات النسبية العامة انظر الصندوق ٢).

الصندوق ٢. اختبارات نظرية النسبية العامة لآينشتاين

عندما نشر آينشتاين نظريته العامة في النسبية عام ١٩١٥ (التي بناها على النسبية الخاصة عام ١٩٠٥) اقترح ثلاثة اختبارات يمكن إجراؤها بالقيام بملاحظات ضمن النظام الشمسي. كان أولها لف أشعة النجوم، التي شرحت سابقاً. وتتعلق الثانية بمدار الكوكب عطارد. فالمكان المحني حول الشمس يجعل مدارات الكواكب تنفذ حركة انحنائية بطيئة تعرف تقنياً بتضبيط الحضيض الشمسي. وينتج ضبط مماثل ولكنه أكبر بكثير، عن طريق اضطرابات الكواكب الأخرى. وبالنسبة لعطارد، فإن التصحيح الصغير المتنبأ به بسبب النسبية، هو حوالي ٤٣ قوس بالثانية في مئة عام. وعلى الرغم من

ضآلته فقد قيس مسبقاً من قبل الفلكيين، لكن سببه بقي سراً إلى أن شرحته النسبية العامة بالكامل.

يتعلق الاختبار الثالث بتأثير الثقالة على الزمان: فالساعات تسير بسرعة أبطأ في حقل الثقالة. وفي الحقيقة، تبطّأ العمليات الفيزيائية كلها بما في ذلك إصدار الضوء. لقد أشارآينشتاين إلى أن الضوء من الشمس يجب أن يزاح قليلاً نحو الطرف ذي التردد الأقل من الطيف نتيجة لحقل ثقالة الشمس وهو التأثير المعروف بالانزياح نحو الأحمر بسبب الثقالة. ومن الصعب قياسه بالنسبة للشمس ولكن تم التحقق من هذا التنبؤ بدقة عام ١٩٦٠ باستخدام الثقالة الأرضية. تألّفت التجربة من حني فوتونات أشعة غاما إلى أعلى برج في جامعة هارفارد واستخدام تقانة الرنين المغناطيسي فوق الصوت لاكتشاف الانحراف البسيط في التردد.

أظهرت التطورات في الفلك أجساماً في الفضاء بحقول ثقالة ضخمة حيث تكون تأثيرات النسبية العامة أكبر بكثير منها داخل النظام الشمسي. وعلى سبيل المثال، استخدمت أزاوج من نجوم نيوترونية في مدار قريب لاختبار العديد من تنبؤات النظرية بدقة عالية. وتعتبر الثقوب السوداء تنبؤاً متطرفاً آخر على النسبية العامة، وتدرس خصائصها بنشاط من قبل الفلكيين. ويقدم التحدب الثقالي (انظر الصفحة ٣٧) اختباراً إضافياً.

ومع اختراع الساعات والليزرات الذرية، اصبح من الممكن اختبار تنبؤات النسبية العامة بدقة أكبر وأوضاع أكثر. وبالفعل دخلت التأثيرات الناجمة عن النسبية العامة الآن عالم الهندسة العملية. ويعمل نظام تحديد الموقع العالمي المستخدم من قبل السائقين والملاّحين بمقارنة إشارات محددة الزمن من شبكة من الأقمار الصنعية التي تدور حول الأرض. وعلى ألغوريثم الحاسوب أن يأخذ تأثيرات حني الزمن للثقالة والحركة بعين الاعتبار.

يبقى أحد تنبؤات النسبية العامة غير مختبر بشكل كامل. لقد أظهر آينشتاين عام ١٩١٨ كيف يمكن للكتل المتحركة أن تولّد أمواجاً من الثقالة.

وتشبه هذه الأمواج الأمواج الكهرطيسية، وتنتقل بسرعة الضوء. ومع ذلك ولأن الثقالة أضعف بكثير من الكهرطيسية، فإن تاثيرات أمواج الثقالة صغيرة جداً. إن أحد الطرق لتخيلها هي أنها على شكل موجات على انحناء الفضاء، ولذا إذا مرّت موجة ثقالة قريباً من أجسام معينة فستجعلها تهتز بشكل طفيف جداً. لقد بنيت حسّاسات لمحاولة التقاط هذا التأثير، ولكن بدون نجاح حتى الآن. ومع ذلك يظهر نظام نجم نيوتروني مزدوج درس لسنوات عدة، إشارات واضحة على التخافت المداري الناجم عن إصدار أمواج الثقالة ولذا فقد تأكّد وجودها بشكل غير مباشر.

وهناك خاصة هامة تتعلق بحجم الفضاء. ففي كون آينشتاين الكروي المتضخم يكون الفضاء محدوداً (كما أن السطح الكروي للأرض محدود). ويعني هذا أن الفضاء (في نموذج آينشتاين) لا يمتد إلى ما لا نهاية – مما يعارض ما علّمني إياه والدي. وهناك خاصة أخرى هامة لكون آينشتاين وهي أنه متجانس (بالمتوسط). والشيء نفسه بالطبع صحيح بالنسبة لسطح كرة. فليست هناك خصائص محددة تميز أية بقعة معينة على سطح كرة عن الأخرى، فليس هناك مركز أو حدود. (الأرض لها مركز بالطبع ولكن سطح الأرض ليس له مركز). ولذا يبدو كون آينشتاين كما هو من أية مجرة وهذا تماماً ما يلاحظه الفلكيون. ولذا فهو بالتالي محدود ولكنه غير محاط – بمعنى أنه ليست هناك حافة أو حاجز تمنع جسماً ما من أن يسافر من مكان ما في الكون إلى أي مكان آخر. ومع ذلك فهناك عدد محدود من الأماكن لزيارتها على سطح الأرض. وكما يمكن لشخص أن يدور حول الأرض بالاتجاه دوماً نحو الأمام – بحيث يعود إلى البداية من الاتجاه المعاكس – يمكن لشخص من حيث المبدأ أن يلفّ حول كون آينشتاين بالاتجاه على خط مستقيم وعدم الانحراف عنه ومن ثم العودة من الاتجاه المعاكس للاتجاه الذي بدأ منه. وبالفعل فباستخدام منظار قوي بما يكفي يمكنك أن تنظر خلال كون آينشتاين

وأن ترى خلفية رأسك! هذا النموذج للفضاء هو تعميم ثلاثي الأبعاد للحلقة المرنة التي وصفتها سابقاً في هذا الفصل (الشكل ٦).

إن أحد صعوبات تصور كرة متضخمة بالنسبة للناس هي المشكلة المعقدة «ما الذي يوجد في الوسط». فهم يفكرون في سطح كروي ثنائي الأبعاد، كبالون كروي مثلاً، ويقولون «حسناً، يحتوي البالون على هواء داخله». إن قضية ما يحتويه فضاء آينشتاين «داخله» هي قضية صعبة. فنحن البشر مع الكون الذي ندركه (على الأقل تلك الأجزاء منه التي أدركناها حتى الآن) محدودون بفضاء ثلاثي الأبعاد، ولذا فإن قضية ما يقع داخل الفضاء الكروي المتضخم ثلاثي الأبعاد لآينشتاين أمر قابل للنقاش. وإذا كان ذلك يساعدك فيمكنك تخيل هذه المنطقة «الداخلية» على أنها بعد رابع للمكان (سواء كانت فارغة أومليئة بجبنة خضراء!). لكن بما أننا محصورون ضمن «السطح» الكروي المتضخم ثلاثي الأبعاد، فلا فرق هناك بالنسبة لنا إذا كانت المنطقة الداخلية موجودة أم لا أو ما الذي تحتويه. و ينسحب الأمر ذاته على المنطقة الخارجية وهي المشابهة للفضاء خارج البالون[١٢].

ولتوصيل الفكرة، بما أنه يصعب على الناس فهمها، حاول أن تضع نفسك مكان مخلوق على شكل – فطيرة – محدود بالعيش على سطح بالون كروي. قد يفكر هذا المخلوق بما يوجد داخل البالون (هواء، فراغ، جبنة خضراء.......)، ولكن مهما كان هناك فإنه لن يؤثر على خبرات المخلوق لأنه لا يستطيع الوصول إلى داخل البالون أو يتلقى أية معلومات منه. والأكثر من ذلك فليس من الضروري ان يكون هناك **أي شيء على الإطلاق** (ولا حتى فضاء فارغ) داخل سطح كروي حتى يمكن لمخلوق يعيش على السطح أن يستنتج أنه كروي. أي أن المخلوق لا يحتاج إلى عين إله للبالون ليستنتج أن عالمه كروي – مغلق ومحدود ولكنه بدون حدود. ويمكن للمخلوق أن يستنتج كل هذا بالملاحظات التي يجريها من داخل السطح الكروي: فالكروية خاصة ذاتية للسطح ولا تتعلق باحتوائه ضمن فضاء مغلف ثلاثي الأبعاد.

كيف يمكن للمخلوق أن يعرف؟ حسناً، على سبيل المثال، برسم مثلثات وقياس فيما إذا كان مجموع الزوايا أكثر من ١٨٠°. أو يمكن للمخلوق الفطيرة أن يدور حول عالمه. وبالطريقة نفسها، يمكن للبشر أن يستنتجوا أنهم يعيشون ضمن فضاء آينشتاين الكروي المتضخم والمحدود والمغلق دون الرجوع لأي فضاء مغلّف أو متضمّن بأبعاد أكثر، بمجرد إجراء الهندسة **ضمن** الفضاء. ولذا فوجود منطقة «داخلية» أو«خارجية» في كون آينشتاين أو عدم وجودهما، ناهيك عن المادة التي يتالفان منها، هو ببساطة أمر لا أهمية له. ولكن إذا شئت أن تتصور وجود فضاء فارغ لا يمكن الوصول إليه هناك لسهولة التصور، فيمكنك أن تفعل ذلك. إن هذا لن يغير من الأمر شيئاً.

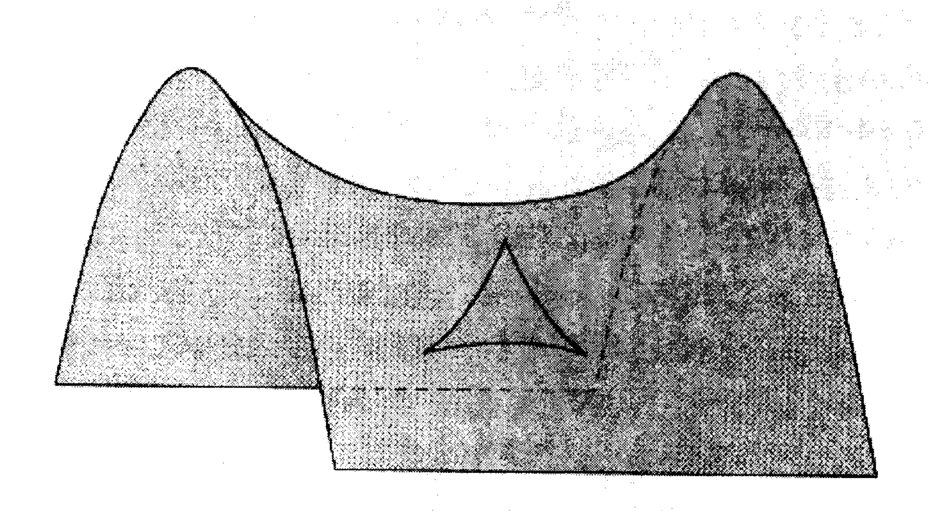
ما شكل الكون؟

كل هذا حسن وجيد، ولكن هل كان آينشتاين على حق فعلاً بأن الكون على شكل كرة متضخمة؟ هنا فإن ل WAMP فائدة كبيرة. من الواضح أنه لو كان الكون غير متناظر بشكل كبير، فإن هذا سيظهر في نموذج الموجات الميكروية الآتية من السماء. ولكن بما أن هذا الإشعاع متجانس جداً فقد أشار مسبقاً إلى أن الكون إلى اقصى ما نستطيع رؤيته منتظم بشكل معقول على الأقل في الشكل[١٣]. ولكن ما هو هذا الشكل؟ وبالعودة مرة أخرى إلى المقارنة بنظام ثنائي الأبعاد، يمكننا فوراً أن نميّز شكلين نظاميين تماماً: صفيحة منبسطة لا متناهية، وكرة تامة. لكن هناك شكل ثالث، وهو نوع من مقلوب الكرة. تذكر أنه على سطح كرة فإن مجموع زوايا المثلث أكبر من ١٨٠°. وتقنياً، تعرّف الكرة على أنها محنية **إيجاباً**. ما ذا عن سطح متجانس، يكون مجموع زوايا المثلث عليه اقل من ١٨٠°؟ إن هذا عبارة عن فضاء بانحناء سالب. ومثل هذا السطح موجود ويبدو مشابهاً لسرج فرس لكنه ممتد إلى ما لا نهاية (انظر الشكل ١٠). كل هذه السطوح الثلاثة – انحناء صفر وموجب وسالب – يمكن تعميمها على الأبعاد الثلاثة. ومنذ عشرينات القرن الماضي، عندما أدرك علماء الكون لأول مرة، أن هناك ثلاثة أشكال مختلفة للكون

المتجانس أرادوا أن يعرفوا أيها أقرب شبهاً بكوننا. لقد جرّب الهجوم المباشر على المشكلة مرات عدة. ولأن الشكل الهندسي للفضاءات الثلاث مختلف فمن المفترض أن يتمكّن الفلكيون من معرفة ذلك بمجرد النظر. إن قياس زوايا مثلث على مسافات كونية غير ممكن، ولكن هناك احتمالات أخرى. وبالعودة مرة أخرى إلى نظام البعدين، تخيل رسم مجموعة من الدوائر المتداخلة على ورقة منبسطة. تزداد المساحة المحصورة من كل كرة بالتناسب مع مربع نصف القطر: فإذا ضاعفت نصف القطر تتضاعف المساحة أربع مرات. لكن هذه العلاقة خاطئة على سطح كرة: فالمساحة تزداد مع زيادة نصف القطر بسرعة **أقل**. ومن السهل رؤية ذلك، لأنك لو حاولت تسطيح قبعة، فعليك أن تقطع أطرافاً منها بحيث لا يمكنها أن تغطي قرصاً بنصف قطر مكافئ على صفيحة منبسطة. وبالمثل، يزداد السطح على شكل سرج بسرعة **أكبر** من مربع نصف القطر. ويعني تحويل كل هذا إلى نظام ثلاثي الأبعاد، أن مساحة منطقة من الفضاء تزداد مع مكعب نصف القطر إذا كان الكون منبسطاً (منبسطاً بثلاثة أبعاد وليس منبسطاً على شكل فطيرة). وإذا كان الكون على شكل كرة متضخمة، كما اقترح آينشتاين، فإن الحجم سيزداد بسرعة أقل مع نصف القطر أما إذا كان على شكل سرج متضخم، فإنه سيزداد بسرعة أكبر. ويمكن تقدير حجم منطقة ما من الفضاء بعدّ عدد المجرات التي تحتويها.

حاول بعض الفلكيين تأسيس هندسة الكون بهذه الطريقة المباشرة لكن نتائجهم لم تكن حاسمة، بسبب صعوبة قياس المسافات الدقيقة إلى مجرات بعيدة وتعقيدات تقنية أخرى. لكن يمكن استنتاج الجواب من بيانات WMAP بقياس مقادير تذبذبات درجات الحرارة – البقع الساخنة والباردة (المضيئة والمظلمة) في الشكل (٣). وقبل إطلاق WMAP قدّرعلماء الفيزياء النظرية المقادير الفيزيائية لأقوى التذبذبات. ويعتمد تحويل هذا إلى مقدار زاويا واضح في السماء على هندسة الكون: لو كان الكون محنياً إيجابياً، فإنه سيجعل الزوايا تبدو أكبر، بينما يجعلها الإحناء السلبي أصغر. وإذا كان الكون

منبسطاً هندسياً (أي أنه يتبع هندسة إقليدس) فإن المقدار الزاوي لأقوى تذبذب ساخن وبارد يجب أن يكون بحدود ١°. كانت النتائج الراجعة من القمر الصناعي مؤكدة [١٤]. كانت التذبذبات قريبة جداًمن ١° في الحجم، وهي نتيجة أثبتت بتجارب من الأرض وأخرى من بالون. أعلن علماء الكون بعد ذلك أنه ضمن دقة ملاحظة بحدود ٢%، فإن الفضاء منبسط [١٥].



الشكل ١٠ فضاء محني سلباً

من الممكن أن يكون الكون، بالمقياس الكوني، متجانساً ولكنه محني نحو الخارج بدلاً من الداخل. إن السطح ثنائي الأبعاد الموضّح هنا هو المماثل لمكان ثلاثي الأبعاد محني سلباً. إنه لا نهائي ومتجانس. وتوضح الهندسة المحنية سلباً نفسها في تشويه مثلث يكون مجموع زواياه أقل من ١٨٠°.

قد لا يزن الكون شيئاً

كيف يمكن للمكان أن يكون منبسطاً عموماً بينما تشوّه الشمس والنجوم ذلك محلياً؟ من الواضح أن هناك شيء بين النجوم يجعل المكان ينحني بالاتجاه المعاكس ليعدّل بذلك مقدارالانحناء إلى الصفر. (تذكّر أن المكان

يمكن أن ينحني إيجاباً أو سلباً). ما هو هذا الشيء؟ يأتي الجواب من علاقة آينشتاين الشهيرة $E=mc^2$ والتي تخبرنا بأن الكتلة هي طاقة وأن للطاقة كتلة. وسأشير مراراً إلى «كتلة- طاقة» على أنها مبدأ واحد فيما سيأتي. وعند تقدير كتلة الكون علينا أن نشمل أنواع الطاقة كلها، وليس كتلة المواد في الشمس والنجوم والأجسام الفلكية الأخرى فقط. وتشارك في الكتلة- طاقة الكلية أيضاً الطاقة الحرارية ل CMB والحقول المغناطيسية والأشعة الكونية. وأخيراً ولكن ليس آخراً هناك حقل الثقالة نفسه: فالثقالة هي نوع من أنواع الطاقة. ولكننا نلاحظ الآن حقيقة غريبة. تخيل محاولة نزع الأرض من مدارها حول الشمس. عليك أن تقوم بعمل – أي أن تصرف طاقة – لتسحبها بعيداً ضد ثقالة الشمس. ولذا فإن طاقة الثقالة التي تربط الأرض بالشمس سالبة (فهي تتطلب عملاً لفصم الرابطة). لو كان لحقل الثقالة طاقة سالبة، فيجب أن يكون لها أيضاً كتلة سالبة، ويجب أن تطرح من الكتلة- طاقة الموجبة للشمس والكواكب.

دعنا نرى كيف تدخل طاقة الثقالة السالبة في طاقة- كتلة الكون بأكمله. ضمن النظام الشمسي تكون قيمة طاقة – كتلة الثقالة ضئيلة مقارنة بالكتلة الهائلة للشمس. إن الكتلة الكلية للنظام الشمسي، حتى مع طاقة الربط بالثقالة كلها لا تزال كبيرة وموجبة. ولكن عندما يتعلق الأمر بالكون بكامله فهذا شيء آخر. إن أحد الأشياء المميزة للثقالة هي أنها شاملة: إنها تعمل بين كل جسيمات المادة في الكون. ولذا لحساب طاقة الثقالة (السالبة) لكامل الكون عليك أن تجمع كل طاقات الثقالة الناجمة عن كل جسم يجذب جسماً آخر: وهذه بمجموعها كمية كبيرة من الثقالة حتى لو كانت الغالبية العظمى من النجوم الأخرى بالنسبة لأي نجم بعيدة جداً. إن التقدير البسيط لطاقة الثقالة التي تربط كل المجرات مع بعضها بعضاً، تعطي كتلة فعالة لحقل الثقالة (باستخدام $E=mc^2$) حوالي 10^{50} طن سالبة، والتي تعادل تقريباً (ومعاكسة) لكتلة النجوم والأشياء الأخرى كلها. تقترح حقيقة كون هذين الرقمين من

المقدار نفسه ومتعاكسين في الإشارة، أنهما يبذلان ما بوسعهما ليلغيا بعضهما بعضاً ويجعلا كتلة الكون الصافية صفراً.

تقدّم نظرية النسبية العامة لآينشتاين علاقة بين كتلة الكون وشكل المكان. وعلى الأخص، إذا كانت الكتلة الكلية موجبة – تتفوق المادة على طاقة الثقالة السالبة – فيكون الفضاء محنياً إيجاباً كما هو الحال بالنسبة لفضاء آينشتاين. وإذا كانت الكتلة الكلية سالبة – تتفوق طاقة الثقالة على المادة – فالفضاء منحن سلباً مثل سرج الفرس. وإذا كانت صفراً فالفضاء منبسط [١٦]. لقد علم علماء الكون منذ سنوات عدة، أن المساهمات الموجبة والسالبة لكتلة الكون تلغي بعضها بعضاً تقريباً. ولكن WMAP برهن عليها. فضمن دقة قياس ٢%، وجد القمر الصناعي أن الفضاء منبسط مما يقود إلى الاستنتاج بأنه ليست للكون كتلة صافية على الإطلاق. وهذا كما سنرى فيما بعد هو أحد تلك (المصادفات) الضرورية لوجود كون يسمح بوجود الحياة.

كم بعداً هناك؟

في عام ١٨٨٤ نشر القس البريطاني ذو الاسم الرائع ادوين أبوت أبوت Edwin Abbott Abott النسخة المنقحة لكتابه الأرض المنبسطة Flatland والذي أصبح من الكلاسيكيات، ولا يزال يقرأ على نطاق واسع الآن [١٧]. قدّم المؤلف لكتابه بكلمة إهداء غريبة:

إلى

ساكني **الفضاء عامة** وإلى H.C **خاصة**

أقدم هذا العمل

من مواطن متواضع من سكان الأرض المنبسطة

على أمل أنه

حتى عند إدخاله إلى أسرار الأبعاد **الثلاث**

حيث اعتاد سابقاً على **بعدين فقط**

بحيث يتطلع ساكنو تلك المنطقة الكونية

أعلى فأعلى

إلى أسرار الأبعاد **الأربعة والخمسة أو حتى الستة**

وبالتالي يساهمون

في توسيع الخيال

وإمكانية تطوير الهدية الأكبر والأروع من **التواضع**

بين الأجناس المتفوقة

من البشرية الصلبة

بالنسبة لأولئك القراء الذين لم يطّلعوا على الأرض المنبسطة فهي قصة تدور حول حياة ذات بعدين وحيرة المخلوقات ببعدين في تصور «الأعلى» و«الأسفل» عند مواجهتها لعمليات بثلاثة أبعاد. ومغزى القصة هو أن البشر يحتارون أيضاً عند ما يحاولون تصور عالم بأكثر من ثلاثة أبعاد (على الأقل بالنسبة لهذا المخلوق البشري). ولكن صعوبة تصورشيء ليس دليلاً ضد صحته. فأنا أجد من الصعب تصور بليون دولار، ولكن من الواضح أن بعض الناس يمتلكون فعلاً مثل هذا المبلغ من المال.

وبالنسبة لأبوت، فإن إمكانية وجود أبعاد أكثر للفضاء هي مجرد هواية مسلية. فلم يكن لديه أي دليل على أن للكون فعلاً أكثر من ثلاثة أبعاد، ولا سبب مبني على فيزياء عصره ليفترض ذلك. (وأنا لا أشير هنا إلى الحقيقة التي تعتبر الزمن أحياناً بعداً رابعاً وهو أمر مختلف تماماً). ولكن بعد أربعين سنة من نشر كتاب أبوت، اقترح الرياضي الألماني ثيودور كالوزا Theodore Kaluza إمكانية وجود **أربعة** أبعاد للكون بدلاً من ثلاثة. وقبل أن انتقل إلى نظرية كالوزرا، يجب أن اشرح ما أعنيه ببعد إضافي للكون. يسمح الفضاء

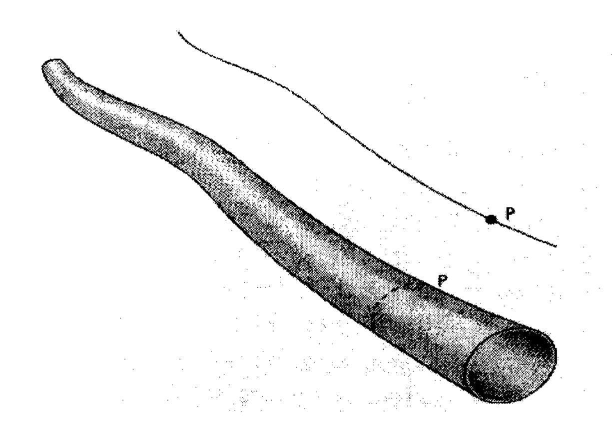
الثلاثي الأبعاد المعروف، بالحركة في اتجاهات ثلاثة متعامدة: على سبيل المثال، أعلى وأسفل، أمام وخلف وجهة – ل– جهة. ويجب أن تشمل أية حركة انتقالاً باتجاه واحد أو على مجموعة من هذه الاتجاهات الثلاث. فليس هناك ببساطة أي مكان آخر للذهاب إليه. وسيسمح بعد رابع باتجاه رابع عمودي على الاتجاهات الثلاث الأخرى. ومن الواضح أنه لا يمكنك الحصول على هذا في المكان المعروف ولكن يمكن للمرء أن يدرس مكاناً متخيلاً بهذه الصفة. وليس أصعب بكثيرأن تفعل الشيء نفسه لأبعاد خمسة أو ستة أو أكثر، حيث يستخدم العلماء والمهندسون مثل هذه التراكيب بشكل روتيني في عملهم كوسيلة تساعد في الحساب.

نصل الآن إلى القضية الرئيسة. هل من الممكن أن يكون للفضاء فعلاً أربعة أبعاد، أو حتى أكثر من ذلك؟ إن الجواب البسيط هو لا لأنه بمقدورنا أن نرى أنه لا يمتلك هذه الأبعاد. ولكن دعنا لا نتسرع كثيراً. فالبعد الرابع يمكن أن يكون موجوداً، ولكنه خفيّ عنا بطريقة أو أخرى.

إخفاء أبعاد الفضاء

كيف يمكنك إخفاء بعد من أبعاد المكان؟ هناك طريقتان مختلفتان للقيام بذلك. لقد اقترح الفيزيائي السويدي أوسكار كلاين Oskar Klein الطريقة الأولى في العشرينات من القرن الماضي. كانت فكرته بسيطة جداً. تصور رؤية خرطوم حديقة من مسافة بعيدة، فهو يبدو على شكل خط ملتو. ولكن مع تفحص أقرب يبدو الخط على شكل صفيحة ثنائية الأبعاد، ملفوفة على شكل أنبوب رفيع (انظر الشكل ١١). وما يبدو لأول وهلة على أنه نقطة على خط، هو في الحقيقة دائرة صغيرة حول محيط الأنبوب. وبالطريقة نفسها، ما نعتبره ربما نقاطاً في فضاء ثلاثي الأبعاد هو في الحقيقة دوائر صغيرة تدور حول بعد رابع. وإذا كان محيط هذه الدوائر أصغر بكثير من ذرة، فلن نلحظ البعد الإضافي بالملاحظة العادية، ولن يظهر إلا بالاختبار الدقيق في فيزياء ما وراء الذرة.

ليست هناك حدود لعدد الأبعاد الإضافية التي يمكن لفها – أو «ضغطها» باستخدام المصطلح الرسمي – بهذه الطريقة. ولكن بالنسبة لعدد أكثر من الأبعاد الإضافية فإن هناك عدداً متزايداًمن الطرق المختلفة للضغط. وعلى سبيل المثال، يمكن لف كل بعد من بعدين إضافيين بشكل مستقل مثل خرطوم الحديقة. ولكن يمكن أيضاً جمعها، وطيّها في كرة صغيرة. ويشير الرياضيون إلى هذه الأشكال المختلفة على أنها توبولوجيات مختلفة. ويرتفع عدد التوبولوجيات الممكنة جداً، بإضافة أبعاد إضافية أكثر فأكثر. ولذا فعند مناقشة شكل المكان، لا بد أن نحدد ليس عدد الأبعاد الكلي فقط، ولكن أيها كبيرة (مثل الأبعاد الثلاث التي نلحظها) وأيها مضغوطة (وبالتالي لا نراها). وأكثر من ذلك، يجب أن نحدد هندسة الأبعاد المضغوطة وطوبولوجيتها. وسنرى لاحقاً أن الأبعاد المضغوطة الإضافية للمكان، تلعب دوراً هاماً في نظرية الأوتار، وفي المحاولات الأخرى لتشكيل نظرية موحدة للفيزياء



الشكل ١١: كيف يمكن إخفاء بعد مكاني

يبدو خرطوم الحديقة من مسافة بعيدة كخط متعرج ببعد واحد، لكن الفحص القريب يظهر أنه أنبوب رفيع فعلاً. فالنقطة P هي في الحقيقة دائرة صغيرة تدور حول البعد الإضافي الثاني. ويمكن أن يكون المكان كذلك: فكل نقطة في الفضاء يمكن إظهارها، بتكبير قوي كاف، على أنها دائرة صغيرة تلف حول بعد مكاني رابع.

وهناك طريقة ثانية يمكن إخفاء بعد إضافي بواسطتها عن الملاحظة العادية. ماذا لو كنا بطريقة ما محصورين، مثل الأراضي المنبسطة، في الكون الثلاثي الأبعاد الذي نلاحظه. أي أن الجسيمات في أجسامنا وكل المواد حولنا «تعيش» في مكان ثلاثي الأبعاد، وليست حرة لتتحرك في البعد الأضافي. من الواضح أن هذا الترتيب الحاصر لا بد أن يؤثر على الضوء أيضاً، وإلا لاستطعنا رؤية البعد الرابع حتى لو لم نستطع التحرك فيه. إن فكرة الحصر هذه ليست اعتباطية تماماً، ولكنها تظهر بشكل طبيعي في بعض نظريات الفيزياء الأساسية المعروفة بنظريات «brane» بالمقارنة مع كلمة membrane غشاء (إذ أنها صفيحة ثنائية الأبعاد موضوعة ضمن فضاء ثلاثي الأبعاد). وبالتالي يمكن لكوننا ثلاثي الأبعاد، أن يكون ثلاثي ال brane موضوعاً في فضاء رباعي الأبعاد. إن نظريات الbrane شائعة في بعض الأوساط، وتقدم تنبؤات محددة حول طبيعة الثقالة، وتصرف الجسيمات تحت الذرية والتي يمكن اختبارها. ومع ذلك فليس هناك إلى الآن برهان تجريبي على أننا نعيش في ثلاثي الbrane، وهناك فقط الكثير من النظريات الرياضية المحيرة [١٨].

إن حقيقة اتخاذ الفضاء أي عدد من الأبعاد «الكبيرة»، يثير السؤال الغريب وهو: لماذا اختارت الطبيعة ثلاثة أبعاد؟ هل هناك شيء مميز حول العدد ثلاثة؟ لقد أشار الرياضي الانكليزي جيرالد ويترو Gerarld Whitrow[١٩] في خمسينات القرن الماضي، أنه لو كان للفضاء بعد رابع، وبقيت قوانين الثقالة والكهرطيسية بدون تغير، فستكون عندها في ورطة. فقانون عكس التربيع سيصبح عكس التكعيب، وسيظهر الاختبار البسيط أن مدارات الكواكب ستكون غير مستقرة: ستدور الأرض حالاً بشكل حلزوني نحو الشمس. وستؤثر مشاكل استقرار مماثلة على الذرات. وتصبح المشكلة أسوأ بوجود أبعاد خمسة أو أكثر. وإذا كان هناك بعدان فقط، فستكون هناك مشكلة في انتشار الأمواج وانعكاسها، مما يؤدي إلى تأثيرات معقدة يمكن أن تؤثر على قدرة النظم المعقدة على التصرف بشكل متناسق. لقد استنتج ويترو من ذلك، **أن الحياة ستكون مستحيلة في فضاء بأبعاد غير الأبعاد الثلاث.**

فالبعدان قليلان جداً، والأبعاد الأربعة كثيرة جداً، ولكن الأبعاد الثلاث مثل معامل غولديلوك مناسبة تماماً، ولذا فقد عثرنا على خاصة أخرى من الخصائص الصديقة للحياة والتي تحتاج إلى إيضاح.

النقاط الرئيسة :

- بدأ الكون بانفجار كبير ساخن منذ ١٣,٧ بليون سنة، ولا يزال يتمدد. وأفضل طريقة لتخيل التمدد هو توسع الفضاء بين المجرات.
- يمتلئ الفضاء بإشعاعات حرارية متبقية، أو ما بعد توهج المرحلة الحارة الأولى للكون. لقد درس الإشعاع الكوني الخلفي (CBM) بشكل موسع وعلى الأخص بواسطة القمر الصناعي WAMP لأنها تحتوي على نتائج هامة كثيرة حول تاريخ الكون وبنيته
- تظهر التذبذبات في ال CBM بذور البنية الكبرى للكون (مجموعات المجرات).
- ليس للكون مركز أو حافة محددين.
- لأن الضوء ينتقل بسرعة محددة فهناك مسافة عظمى أو أفق في الفضاء، لا يمكننا رؤية ما وراءه.
- توصف الثقالة في نظرية النسبية العامة لآينشتاين بحسب المكان المحني (بشكل أكثر تحديداً زمكان) والأمكنة المحنية معروفة للفلكيين.
- على الرغم من أن المكان محني محلياً بواسطة النجوم والمجرات، فإن هندسة الكون ككل تبدو منبسطة (إقليديسية)، ولذا تتنبأ النسبية العامة لآينشتاين بأن الكتلة الكلية للكون صفر. فالطاقة الكتلوية الموجبة للمادة تلغى تماماً من الطاقة الكتلوية السالبة لحقل الثقالة لكل المواد الموجودة في الكون.
- قد تكون هناك أبعاد إضافية للمكان أكثر من الأبعاد الثلاث المعروفة. فبعض النظريات الفيزيائية تتطلب ذلك. ويمكن إخفاء الأبعاد الإضافية من الرؤية، على سبيل المثال، بلفّها إلى حجم صغير جداً.

الفصل الثالث

كيف بدأ الكون

بقايا من الكون الأولي

أتذكر حضور مادة الفلك في جامعة لندن عام ١٩٦٧، عندما لمّح المحاضر إلى الموجات الميكروية الكونية الخلفية المكتشفة حديثاً آنذاك. لقد أخبرنا أنه بناء على ما يمكن استنتاجه من هذا الاكتشاف حول الحالة الساخنة والكثيفة للكون فمن الممكن معرفة التغيرات الفيزيائية التي حدثت في الدقائق الأولى بعد الانفجار الكبير. وانفجر كل من كان موجوداً من المستمعين بالضحك. ففي تلك الأيام كان من الصعب أخذ التحليل المفصّل للكون بعد دقائق من بدايته على محمل الجد. حتى الوصف الإنجيلي له كان محصوراً ب «اليوم الأول». ولكن خلال سنوات قليلة أصبح «الكون الأولي» - حدّد من قبل علماء الكون على أنه يمتد من حوالي ١ مايكرو ثانية بعد الانفجار الكبير حتى حقبة صور ال WAMP ب ٣٨٠٠٠٠ سنة - مادة عادية لمحاضرات الفصول الدراسية ومشاريع الدكتوراه. واعتبر كتاب ستيفان واينبرغ الأكثر مبيعاً «**الدقائق الثلاث الأولى**» مراجعة تقليدية للموضوع عندما نشر عام ١٩٧٧.

دعني أبدأ بذكر بعض الإنجازات الواضحة لنظرية الانفجار الكبير الحار. فالنجاح الأكبر للنظرية له صلة مباشرة بالموضوع الرئيس لهذا

الكتاب وهو: ملاءمة الكون للحياة. لقد وضعت في الفصل الأول قائمة ببعض المتطلبات المسبقة للحياة. وفي رأس هذه القائمة تزويد عناصر كيميائية مختلفة تستخدم من قبل الكائنات الحية. هذه العناصر لم تكن موجودة في لحظة الانفجار الكبير لأن الكون كان حاراً جداً. وبعد عقود من البحث العلمي من الممكن الآن إعادة تركيب كيفية إنتاج العناصر الكيميائية ببعض التفصيل. تبدأ القصة عند ١ ثانية بعد الانفجار الكبير تقريباً. في ذلك الوقت كانت درجة الحرارة حوالي ١٠ بليون درجة وهي أسخن من أسخنِ نجم. وتحت هذه الظروف لا يمكن للذرات أن تبقى. وحتى نوى الذرات تتحطم وتتفرق. ولذا فقد تألفت حالة الكون عند ١ ثانية من حساء (بشكل أصح بلازما) من عناصر ذرية تتحرك بحرية – بروتونات ونيوترونات والكترونات.

إن أبسط عنصر كيميائي هو الهيدروجين الذي تتألف نواته من بروتون واحد. بقيت معظم البروتونات التي نجمت عن الانفجار الكبير حرة وانتهت بتشكيل ذرات الهيدروجين عندما برد الكون إلى الحالة التي تسمح لكل بروتون بالتقاط إلكترون. (لم تحدث هذه المرحلة إلا بعد حوالي ٤٠٠٠٠٠ سنة). وفي هذه الأثناء لم تبق كل البروتونات مستقلة. فقد ارتطم بعضها مع نيوترونات ليشكلا معاً عنصر الديوتوريوم، وهو نظير نادر نوعاً ما للهيدروجين يحتوي على بروتون ونيوترون في كل نواة. اندمجت البروتونات الأخرى لتشكل الهليوم وهو العنصر الثاني الأبسط الذي تحتوي نواته على بروتونين ونيوترونين. إن ما أصفه الآن يدعى بالاندماج النووي وهو عملية مفهومة جيداً. ويمكن للنيوترونات والبروتونات أن تبدأ بالاندماج سوية، لتشكل نوى مركبة فقط عندما تهبط درجة الحرارة إلى مستوى لا يمكن عندها للنوى المركبة حديثاً أن تنشطر مباشرة مرة أخرى بسبب الحرارة العالية. ومع ذلك فقد كانت فرصة الاندماج النووي محدودة حيث أتيحت بعد ١٠٠ ثانية تقريباً وتوقفت مرة أخرى بعد دقائق قليلة فقط. وعندما هبطت درجة الحرارة تحت حوالي مئة مليون درجة توقف الاندماج، لأن البروتونات لا تمتلك الطاقة اللازمة للتغلب على قوة تنافرها الكهربائية.

من الممكن حساب كمية الهليوم المخلّق وعدد البروتونات التي بقيت لتشكل الهيدروجين، بافتراض أن الفكرة الأساسية للانفجار الكبير الحار صحيحة. ويأتي الجواب على شكل ثلاث ذرات هيدروجين لكل ذرة هيليوم ولا شيء آخر تقريباً. (عدا كميات ضئيلة من الديوتوريوم والليثيوم). ويتفق هذا مع ما قاسه الفلكيّون حول وجود أبسط العناصر. كيف يعرفون ذلك؟ طبعت العناصر الكيميائية كلها «رمزاً خاصاً» على الضوء الذي تصدره على شكل خطوط تشاهد في طيفها. وبتحليل الضوء من النجوم يستطيع الفلكيون أن يقرؤوا «الرمز الخاص» لكل نجم ويعرفوا مم يتكون. وتعمل التقانة نفسها بالنسبة لأي مصدر فلكي للضوء (أو ممتص) له بما في ذلك سحب الغاز المنتشر. ومن مثل هذه القياسات نعلم بأن الكون مصنوع بشكل كامل تقريباً من الهيدروجين والهليوم بنسبة ثلاثة إلى واحد تقريباً. ولذا فالهليوم متبق من الدقائق القليلة الأولى لتشكّل الكون[١].

ذكرت أن الاندماج النووي مفهوم جيداً. وفي الحقيقة فإن معظم الفيزياء الأساسية المتعلقة بالزمن من واحد على مليون من الثانية، إلى عدة دقائق بعد الانفجار الكبير تعتبر الآن عادية جداً. ولا أعني أن ذلك صحيح من الناحية النظرية فقط: إذ يمكن اختبار فيزياء بداية الكون مباشرة في المختبر. ففي لونغ آيلاند هناك آلة ضخمة تدعى صادمة الأيونات الثقيلة، صممت لتصدم نواة الذهب بنوى معادن ثقيلة أخرى مباشرة وبقوة كافية تعيد تشكيل ظروف الكون الأولى كما كانت بعد واحد على مليون ثانية من البداية عندما كانت درجة الحرارة فوق تريليون درجة. وتمكّن هذه التصادمات ذات الطاقة العالية الفيزيائيين في مختبر بروكهافين الوطني الذي يقوم بتشغيل الصادم أن يجربوا بشكل مباشر ما حدث عندما ضغط الكون الذي نلاحظه اليوم إلى حجم ليس أكبر من النظام الشمسي وبدرجة حرارة حوالي مليون مرة أعلى من حرارة مركزالشمس. لقد ظهر أنه تحت هذه الظروف الشديدة، لا يمكن حتى

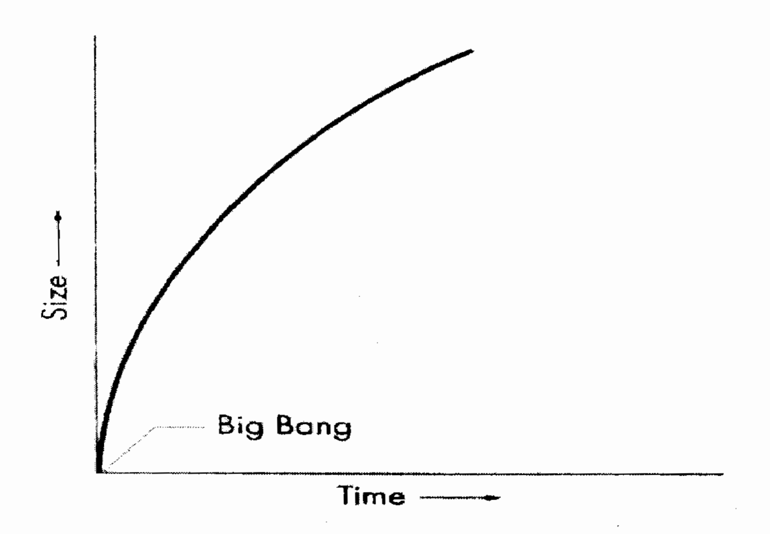
للبروتون والنيوترون أن يوجدا ككيانات مستقلة. وبدلاً من ذلك فقد اندمجا على هيئة خليط عجيني من بقايا تحت ذرية.

الانفجار الكبير فقد زخمه بسرعة

حدثت العملية التي شرحتها في كون كان يتمدد ويبرد بصورة سريعة جداً. وللإيضاح فقد تضاعف حجم الكون المرئي تقريباً بين ١ و ٢ ميكروثانية (واحد على مليون من الثانية) بعد الانفجار الكبير. ويمثل هذا معدل تمدد أسرع بترليون ترليون مرة من الآن. لكن هذا الزخم القوي لم يدم طويلاً: فبعد ثانية واحدة هبط معدل التمدد إلى واحد على تريليون ما كان عليه عند واحد ميكروثانية. ومن السهل فهم سبب هذا التباطؤ الكبير. فلقد عملت الثقالة وهي التجاذب العام بين أنواع المادة كلها على كبح جماح هذا التمدد وخصوصاً بسبب حالة الانضغاط القصوى للمادة في ذلك الوقت. استمر تأثير الإبطاء في الدقائق والساعات والسنين وآلاف السنين اللاحقة لكن **معدل** الإبطاء – مقدار نقص التسارع – تناقص مع تمدد الكون، وضعفت قبضة جاذبيته. ويظهر الشكل (١٢) الميل العام لهذه الظاهرة. وسأشرح لاحقاً كيف انعكس تأثير التباطؤ وربما تحول إلى تمدد متسارع بعد عدة بلايين من السنين. ولكننا الآن مهتمون فقط بالكون الأولي عندما كان معدل التمدد يتناقص بسرعة.

يلامس الميل الأساسي لتمدد سريع ولكنه متناقص قضية هامة، وهي كيف يقارن معدل التمدد مع سرعة تغير العمليات الفيزيائية التي كانت تحدث مثل التفاعلات النووية على سبيل المثال. وإذا كان تفاعل ما، بعد عشر ثوان من الدراما الكونية يستغرق واحد على مليون من الثانية، فإن تضاعف حجم الكون خلال عدة ثوان غير مهم: فمعدل التمدد ما زال بطيئاً جداً مقارنة مع

معدل التفاعل لكي يكون له أي تأثير هام. ولكن حدوث عملية مدتها ميللي ثانية بينما يتضاعف حجم الكون خلال نصف ميللي ثانية أمر مختلف تماماً. إذ يصبح التمدد الآن معطلاً جداً، وبالفعل يفشل التفاعل في اللحاق به. إن قصة الكون الأولي هي قصة حظوظ متقلبة بهذا الصدد. ففي بعض الأحيان تلحق المواد الكونية بعملية التمدد، وأحياناً أخرى تتجمد في حالة محددة في لحظة سابقة. وسنرى في الفصول اللاحقة كيف كانت حوادث «التجمد» مهمة في تأسيس كون ملائم للحياة.



الشكل ١٢ الثقالة تبطئ تمدد الكون

يجب أن يزداد حجم الكون مع الزمن، بحسب النسبية العامة. يبدأ الكون بالتمدد بشكل متفجر عند بداية الانفجار الكبير، ولكنه يتباطأ بعد ذلك نتيجة لتأثير الثقالة التي تعمل ككابح له.

الكون الأولي جداً

على الرغم من نجاحها الظاهر في وصف بعض الحقائق الفلكية الهامة فلا تزال قصة الكون الأولي تترك الكثير بدون تفسير. وهناك دائما الإغراء لطرح السؤال: «حسناً، ما الذي حدث قبل ذلك؟» لقد ذكرت كيف يمكن لتجارب صدم الأيونات الثقيلة أن تمثّل حالة الكون كما كانت حوالي واحد ميكروثانية بعد الانفجار الكبير. هل يمكننا العودة أكثر إلى الوراء لنفحص طاقات أعلى ونصل أقرب إلى اللحظة المجهولة الأولى عندما حدث الانفجار الكبير؟ يستطيع أكبر مسرّع للجسيمات في العالم أن يصل إلى طاقات أعلى بكثير من آلة بروكهافين. وعلى الرغم من أنهما محصورتان عادة بتصادم دقيقتين فقط إلا أن هذه المسرعات مع ذلك تمكّن الفيزيائيين من أن يلحظوا بعض العمليات التي ربما جرت في الكون بعد واحد على تريليون ثانية فقط من الانفجار الكبير.

إن الرغبة في تقطيع المخطط الزمني لعملية الخلق إلى قطع أصغر فأصغر، لم يملها ولع علماء الكون بالتفاصيل بقدر ما أملتها حسابات التقييس الصارمة. ومع لعب شريط فيلم خلق الكون للوراء إلى لحظة البدء كذلك يتسارع معدل التغير. فما يحدث خلال ميكروثانية وميللي ثانية يعادل تقريباً ما يحدث خلال ميللي ثانية وثانية أو بين ثانية و عدة دقائق. والسبب في ذلك أن درجة حرارة الكون وانضغاطه يزدادان بدون حدود مع الاقتراب من اللحظة الحاسمة للزمن صفر. وتقودنا هذه الحقيقة مع حقيقة أن البنى الأعمق للكون تكوّنت في اللحظات الأولى حتماً إلى الاستمرار بالسؤال «ما الذي حدث قبل ذلك»؟

وبزهوهم بنجاح نظرية الكون الأولي، بدأ علماء الكون في سبعينات القرن الماضي بالاهتمام بما دعوه الكون الأولي جداً. وقد تكون الميكروثانية

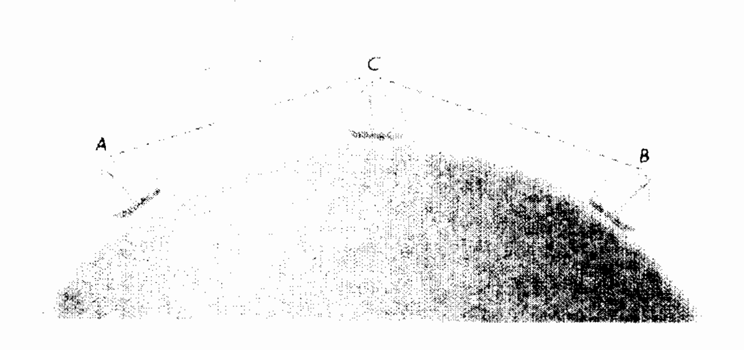
فترة قصيرة بالنسبة للإنسان لكنها في عالم فيزياء الجسيمات تحت الذرية فترة طويلة جداً. فمعظم التفاعلات الملحوظة، كتخافت بعض الجسيمات تحت الذرية، يستغرق حوالي واحد على تريليون – تريليون ثانية فقط. وتؤسس هذه الفترة القصيرة مقياساً زمنياً أساسياً في فيزياء الجسيمات ولذا فمن المفهوم ميل علماء الكون للتخمين عما قد حدث في الكون في مثل هذه الفترة من الزمن أو حتى قبلها.

لم يكن هذا مجرد فضول خامل. لقد كان واضحاً في السبعينات أن بعض الخصائص الرئيسة جداً للكون لا تزال غير مفسّرة تماماً وبالفعل فقد كانت سرية. لقد كانت الخاصة الأولى والأكثر وضوحاًهي مسألة ما الذي سبّب الانفجار الكبير فعلاً. وكان السؤال المتعلق بهذا هو لم كان الانفجار الكبير بهذا الحجم بدلاً من أن يكون أكبر أو أصغر: ما الذي قرر بالضبط زخمه؟ كانت هناك أيضاً أحجية كون الهندسة الضخمة للكون مسطحة، والسر المتعلق بها وهو لماذا كانت (كتلة- طاقة) الكون لا تختلف عن الصفر. لكن المعضلة الأكبر تتعلق بالتجانس غير العادي للكون على المقياس الكبير كما تجلى ذلك في نعومة إشعاع CMB. وكما أشرت سابقاً، فعلى مقياس بلايين السنين الضوئية يبدو الكون نفسه تقريباً في كل مكان. وتنطبق ملاحظات مماثلة على التمدد: فمعدل التمدد هو نفسه في الاتجاهات كلها وحسب أفضل ما توصلنا إليه في المناطق الكونية كلها. كانت هذه الخصائص كلها، محيّرة تماماً في السبعينات لكنها أساسية كلها لخلق كون ملائم للحياة. وعلى سبيل المثال فإن انفجاراً أكبر كان سيوزع الغازات الكونية بسرعة كبيرة بحيث لا تستطيع التجمع في مجرات. وبالمقابل لو كان الانفجار الكبير أصغر لانهار الكون على نفسه قبل أن تبدأ الحياة. لقد اختار كوننا حلاً وسطاً موفقاً: فهو يتمدد ببطء كاف ليسمح للمجرات والنجوم والكواكب أن تتشكل، ولكن ليس ببطء كبير بحيث يخاطر بانهيار سريع[٢].

لماذا كان الكون ناعماً جداً؟

من غير المحتمل ظاهرياً أن يحدث انفجار ما تمدداً ناعماً ومتسقاً لأن الانفجارات عشوائية عادة. لو كان الانفجار الكبير غير متساو ولو قليلاً بحيث يتجاوز معدل التمدد في أحد الاتجاهات المعدل في اتجاه آخر، فسينمو الكون أكثر فأكثر اختلالاً مع ابتعاد المجرات الأسرع. إلا أننا لا نلاحظ ذلك. فمن الواضح أن للانفجار الكبير الزخم نفسه في الاتجاهات كلها وفي المناطق جميعها في الكون، وأنه منغّم حتى درجة عالية من الضبط. ويبدو هذا بحد ذاته محيّراً بما يكفي، لكن الأمر يبدو مفتعلاً جداً عندما نتذكر وجود الأفق. تصور منطقتين من الفضاء A و B على طرفين متقابلين من السماء تبعد كل منهما ١٠ بليون سنة ضوئية عن الأرض. إنهما يبدوان متماثلين إلى حد بعيد ويحتويان على تجمعات متماثلة من المجرات مع انزياح متماثل لكل منهما نحو الأحمر. ولأنهما في قطبين متباعدين فإننا نراهما الآن مفصولتين عن بعضهما بعضاً بحوالي ٢٠ بليون سنة ضوئية. وبما أن عمر الكون أقل من ١٤ بليون سنة ضوئية فمن غير الممكن أن يملك الضوء الزمن الكافي منذ الانفجار الكبير لينتقل من منطقة لأخرى. فالساكن في المنطقة A لا يمكنه أن يرى المنطقة B أو يعلم بوجودها على الرغم من أن البشر الموجودين كما نحن الآن بينهما يستطيعون رؤيتهما (انظر الشكل ١٣). فالأفق حوالي A لن يكون قد امتد حتى B. ومن الواضح أن كلاً من المنطقتين A و B لا يمكنه أن يعلم بوجود الآخر. ويعني هذا أنهما بحسب اصطلح عليه مستقلان بالصدفة. ولأنه لا يمكن لشيء أو قوة أن تنتقل أسرع من الضوء (انظر الصندوق ١) فمن غير الممكن أن يصل تأثيرفيزيائي بين المنطقتين. فما حدث في المنطقة A لا يمكنه (في هذه الصورة البسيطة) أن يكون قد أثّر على ما

حدث في B والعكس صحيح. لماذا إذن يبدو A و B متماثلين إلى حد بعيد؟.



الشكل ١٣ أفق من

تبحر ثلاثة قوارب في مسار واحد خلف بعضها بعضاً، الناظر من القارب C يمكنه أن يرى القارب A (أمامه) والقارب B (خلفه). ولكن الناظر من A لايمكنه رؤية B والعكس صحيح: فكل منهما يقع خارج أفق الآخر. وبالمثل بالنسبة للأفق الكوني، نستطيع نحن من الأرض أن نرى مناطق بعيدة جداً من الكون على طرفين متقابلين من السماء تبعد عن بعضها بعضاً مسافة بعيدة جداً بحيث لا يملك الضوء الزمن الكافي منذ الانفجار الكبير ليسافر بينها. ولذا يجب اعتبار هاتين المنطقتين «مفصولتين بالصدفة».

كيف تحكّم الكون المخلق بولادته الانفجارية بهذه الدرجة من الدقة، بحيث لا يوجد فارق مميز عبر الفضاء حتى بين مناطق لم يكن بينها اتصال عابر على الإطلاق؟ ويبدو الأمر كما لو أن على فريق من راقصات الباليه العمي والصم أن يؤدي رقصة متناسقة تماماً. ولإلقاء المشكلة في انفراج

واضح، فإنه في الحقبة التي صدر منها ال CBM احتوى الكون الملاحظ ملايين المناطق المستقلة صدفة، ومع ذلك – كما أكّدت سابقاً - فقد بقي هذا الإشعاع متجانساً بشكل مدهش. كيف تعاون الكون بكامله لتحقيق ذلك؟ هل كان ذلك مجرد صدفة غير معقولة أم هل حدثت عملية فيزيائية ما في بداية الكون الأولي لخلق هذه الحالة الخاصة جداً؟

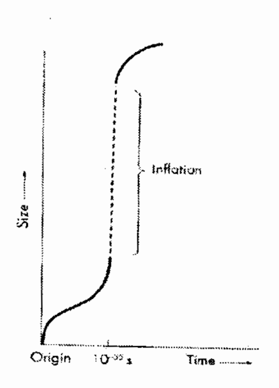
نظرية التضخم تفسر كل ذلك بضربة واحدة

عثر ألان غوث Alan Guth عالم الفيزياء النظرية الذي يعمل في معهد ماستوتيسيت للتقانة على بداية الجواب. وهو مبني على فكرة بسيطة جداً تدعى التضخّم inflation (لتمييزها من التمدد الكوني المعتاد expansion). في نسخة غوث الأصلية عمل التضخم على هذا الشكل. حدث الانفجار الكبير التقليدي والذي لم يتطلب أن يكون متجانساً أو منسقاً أولاً: يكفي حدوث انفجار ضخم لبدء العرض الكوني. ثم بعد جزء من الثانية ازداد حجم الكون فجأة بعامل ضخم جداً (انظر الشكل ١٤). كم كانت ضخامته؟ اقترح غوث على الأقل $١٠^{٢٥}$ (١٠ تريليون تريليون) مما يوحي بأن الكون الملاحظ بكامله قفز فوراً، من حجم بروتون إلى حجم برتقالة تقريباً. لم يكن عامل التكبير الحقيقي هاماً ما دام كبيراً جداً. وأخيراً وصل التضخم إلى نهايته وعاد التمدد العادي الذي ينسجم مع القصة التقليدية عن الكون الأولي والتي سبق أن شرحتها[٣].

سأشرح بعد قليل ما الذي أثّر على الكون ليتصرف بهذه الطريقة العجيبة، ولكن دعني أولاً أشرح كيف يحلّ التضخم مشكلة التجانس الكوني تقريباً. ستمدد أية شذوذات أولية «إلى الموت» بالطريقة نفسها التي يفقد فيها بالون منفوخ تجعداته. وفي الحقيقة يمحو التضخم سجلات التعقيد السابقة كلها ويولّد كوناً ناعماً طبيعياً. وإضافة إلى ذلك فكما يقلّل نفخ البالون انحناء سطحه فإن تضخم الكون يجعله أقل فاقل انحناء. وإذا نفخته بما يكفي (عامل $١٠^{٢٥}$) فلن تميزه عن سطح مستو. ولذا يفسّر التضخم الهندسة المستوية للكون كما يشرح تجانسه أيضاً.

مضاد الثقالة

تبدو نظرية التضخم لغوث كما وصفتها كأنها لعبة سحرية إلى حد ما. وربما لم تكن لتلقى آذاناً صاغية لولا أن غوث قدّم آلية فيزيائية معتمدة لشرح كيفية حصول التضخم. ولحسن الحظ فلديه مسبقاً مثل هذه الآلية: وهي تتعلق بتعديل دور الثقالة الطبيعي في علم الكون. فقوة سحب الثقالة في الكون تفيد في تقليل معدل التمدد بصورة تدريجية. ويعمل التضخم بصورة معاكسة تماماً: فالتضخم يحدث في فترة قصيرة يتضخم فيها معدل التمدد بشكل ضخم مسبباً انتفاخ الكون بسرعة فائقة. اقترح غوث أن نوعاً من القوة المضادة للثقالة مسؤول عن ذلك. وليس هذا خيالياً كما يبدو لأول وهلة: يبدو أن مضاد الثقالة موجود ضمن نظرية النسبية العامة لآينشتاين بطريقة عادية جداً (انظر الصندوق ٣). وفي الحقيقة يبدو أن مضاد الثقالة هو الخيار المفترض في النظرية النسبية.



الشكل ١٤ التضخم

في نظرية التضخم الأصلية لألان غوث، يمر الكون الأولي جداً بفورة قصير من التمدد المتسارع جداً قافزاً في الحجم بعامل ضخم خلال جزء من الثانية (لم يرسم المنحني على المقياس). وعندما يتوقف التضخم يعود التمدد المتباطئ العادي مطابقاً الشكل الموضح في الشكل ١٢. توضح الصورة المبسطة أن الكون نشأ نتيجة انفجار كبير تقليدي تبعته فترة قصيرة من التباطؤ قبل مرحلة التضخم. لكن التضخم يمحو آثار المرحلة السابقة ولذا يجب عدم اعتبار هذا الجزء من المنحني جدياً

تصور منطقة من الفضاء الفارغ صافية وبسيطة. إن التصرف الطبيعي لهذه المنطقة بحسب النسبية العامة هو أن تتمدد أسرع فأسرع. (هناك احتمال آخر أقل طبيعية وهو أن تتقلص). وسيكون الاستثناء الوحيد إذا كانت طاقة تلك المنطقة من الفضاء الفارغ تعادل **الصفر** تماماً، وعندها ستبقى المنطقة خاملة. الآن قد تتصور أنه لو كان الفضاء خالياً، لوجب أن تكون طاقته صفراًتماماً – لأنه لا شيء فيه! وهذا صحيح بمعنى ما. ولكن هذا يهمل إمكانية تخلخل الفضاء من قبل حقول لا مرئية. وستحتوي مثل هذه الحقول على طاقة. ويعتمد التأثير الجاذب لطاقة الحقل على طبيعته: فبعض الحقول (كالحقول الكهربائية مثلاً) ستجعل الكون يتقلص بينما ستخلق حقول أخرى مضاد الثقالة وتجعله يتمدد. وتحتوي هذه الحقول الأخيرة على ما يدعى بالحقول المدرجة scalar. وهي التي جذبت اهتمام غوث[٤]. وكي أكون أميناً فلم يلاحظ أحد إلى الآن حقلاً مدرجاً. لكن لدى الفيزيائيين أسباب نظرية جيدة لافتراض وجودها. (هناك باحثون يتقفّون بحماس أثر أحد هذه الحقول والذي يدعى حقل هيغز الذي سأناقشه في الفصل الرابع). لم يكن غوث مهتماً كثيراً بالبرهان التجريبي على وجود حقول مدرجة. فقد افترض فقط أن هناك حقلاً مناسباً يقوم بالتضخم وسمى هذا الكيان الافتراضي **بحقل التضخم**.

الصندوق ٣ خطأ آينشتاين الأكبر

اقترح آينشتاين نموذجه لكون محدود لكنّه غيرمحاط عام ١٩١٧، قبل أن يعلن ادوين هوبل أن الكون يتمدد. افترض آينشتاين أن الكون ساكن. وولّد هذا مشكلة لأنه لو كان الكون ساكناً فلا بد له أن ينهار تحت تأثير وزنه. ما الذي سيوقفه ضد سحب الثقالة العامة بين الأجسام كلها؟ جاء آينشتاين بحل ذكي. اقترح أن القوة العادية لسحب الثقالة تعدل بقوة أخرى مضادة للثقالة أو بتنافر كوني. لقد لجأ إلى علاقاته في النسبية العامة ليجد فيها حلاً ووجد أنه لو أضاف حداً إضافياً لعلاقاته عام ١٩١٥ فستصف

النظرية نوعين من الثقالة – قوة الثقالة العادية وقوة طاردة مضادة للثقالة. (يمكن النظر لمضاد الثقالة على أنه نتيجة **طاقة الفضاء الفارغ**).

وللقوة المضادة للثقالة خاصة غريبة وهي أنها تزداد بزيادة المسافة، مما يجعلها مختلفة عن قوة الثقالة العادية. لكن هذه الخاصة بالذات هي التي كان من الممكن لآينشتاين استغلالها. لقد حاجج بأن قوة مضاد الثقالة لا بد أن تكون ضعيفة جداً بمقاييس النظام الشمسي وإلا فستفسد الاتفاق المبهر بين علاقاته الأصلية والملاحظات الفلكية لحركة كوكب كعطارد مثلاً (انظر الصندوق ٢). لكن التنافر هام بمقياس المجرات وينافس جذب الثقالة. ولم تقدم النسبية العامة أي مؤشر على القوة الكلية لقوة التنافر. (يدعوها الفيزيائيون ب «العامل الحر»)، ولذا استطاع آينشتاين أن يقترح قيمة يمكن لها أن تعادل تماماً وزن الكون وبالتالي تمنع انهياره.

كان هذا هو الوضع عام ١٩١٧ عندما نشر آينشتاين علاقاته المعدلة، بما في ذلك الحد الإضافي. وكان قادراً على إيجاد حل لهذه العلاقات يتناسب مع كون ساكن في حالة توازن بين قوى الجذب وقوى التنافر للثقالة. كان الحل هو نموذج الكرة المتضخمة. وفي عام ١٩٣٠ سافر آينشتاين إلى الولايات المتحدة وقابل هوبل وعلم بالملاحظات التي تشير إلى كون متمدد. أدرك آينشتاين على الفور خطأه بإشغال نفسه بنموذج لكون ساكن. فلو أنه بقي على موقفه الأول وتعامل مع العلاقات الأصلية – بدون حد إضافي مضاد للثقالة – فسيكون مضطراً للاستنتاج بأن الكون إما أنه يتمدد أو أنه يتقلص وسيختار بالتأكيد الخيار الأول.

وفي الحقيقة فقد حل العالم الروسي ألكسندر فريدمان Alexander Freedman علاقات آينشتاين الأصلية عام ١٩٢١ وحصل بالتالي على أنواع مختلفة من النماذج الكونية المتمددة والمتقلصة وقام بإرسال الحلول إلى آينشتاين ليطّلع عليها. لكن الرجل العظيم لم يكن متحمساً لها مفضلاً نموذجه الساكن.

ونتيجة لتفكيره العنيد، أضاع آينشتاين الفرصة ليتنبأ بأحد الاكتشافات العظيمة الملاحظة في علم القرن العشرين والتي كانت ستقدم برهاناً إضافياً على نجاح نظريته في النسبية العامة. وبعد أن أدرك آينشتاين في نهاية الأمر خطأه تخلى عن حد مضاد الثقالة في علاقته باشمئزاز واصفاً إياه بأنه أكبر غلط ارتكبه في حياته. ونتيجة لذلك فقد تم التخلي عن مضاد الثقالة لعقود. وعندما كنت طالباً في الستينات لم يدافع عنها إلا عدد قليل جداً من علماء الكون.

لكن للتاريخ عادة الخروج بمفاجآت غريبة. وبالتأكيد باتباع هوبل لم تكن هناك حاجة لمضاد الثقالة لوصف كون ساكن. لكن هذا لايعني منطقياً أن هذه القوة غير موجودة. ففي نهاية التسعينات أعلن الفلكيون أن معدل تمدد الكون يتسارع وأن هذا بسبب قوة مضاد الثقالة العامة. ولا يمكن تمييزها حالياً عما اقترحه آينشتاين عام ١٩١٧. **لذا ربما تحول اكبر خطأ لآينشتاين إلى انتصار!**

لم اشرح لماذا يقوم حقل التضخم بفعل مضاد للثقالة. إن أسباب ذلك تقنية نوعاً ما، ولكن يمكنني أن أنقل الفكرة الرئيسة. في نظرية نيوتن تتولّد الثقالة من الكتلة. وفي النسبية العامة لآينشتاين فالكتلة هي أيضاً مصدر الثقالة **وكذلك الطاقة** (تذكر أن علاقة آينشتاين $E=mc^2$ تخبرنا بأن للطاقة كتلة). لكنها لا تتوقف عند هذا الحد. **فالضغط** هو أيضاً مصدر للثقالة في نظرية النسبية العامة. ولا يخلد ببالنا عادة أن الضغط يخلق حقلاً للثقالة لأن تأثيره ضئيل في معظم الظروف. وحتى الضغط الهائل داخل الأرض على سبيل المثال، يساهم بأقل من مايكرو غرام من وزن جسمك[٥]. ولكن إذا أصبح الضغط كبيراً جداً فقد ينافس الطاقة بقوة جاذبيته. ونعني ب «كبير جداً» نوع الضغط الموجود داخل نجم يتهاوى بدلاً من كوكب. والمثال الآخر هو حقل مدرج: فله ضغط يمكن مقارنته بطاقته[٦].

لكن لماذا ينتج الحقل المدرج مضاد الثقالة؟ إن العامل المهم هو الضغط: بالنسبة لحقل مدرج يكون الضغط سالباً. إن الضغط السالب ليس

غريباً فهو ليس أكثر مما ندعوه عادة بالشد – يقدم شريط مرن ممدود مثالاً معروفاً على الشد. وفي نظام ثلاثي الأبعاد يكون لمكعب مطاطي يشد في كل الاتجاهات ضغط سالب. ويعني الضغط السالب ضمناً ثقالة سالبة – قوة طاردة مضادة للثقالة. ولذا يولّد الحقل المدرج ثقالة بفضل طاقته ولكنه يولد مضاد الثقالة بفضل ضغطه (السالب). وتظهر إحدى الحسابات أن مضاد الثقالة يتفوّق على الثقالة بثلاثة أمثال ولذا فإن التأثير الإجمالي لحقل مدرج مضاد للثقالة[٧].

أصل المادة

وللعودة لقصة التضخم اقترح غوث أن حقلاً مدرجاً تخلخل الفضاء في الجزء الأول الضئيل من الثانية بعد مولد الكون باذلاً تأثيراً قوياً جداً مضاداً للثقالة وجاعلاً الكون يبدأ بمرحلة من التمدد السريع الذي يزداد سرعة مع الزمن. وبعد أن أدرك أن حقلاً مدرجاً سيحل المشكلة كانت مهمته التالية أن يحدد فيما إذا كان التأثير المضاد للثقالة قوياً بما يكفي، ليطغى على الثقالة الهائلة الناتجة عن المادة العادية كلها في الكون. استمد دليله من النظريات العظيمة الموحدة أو GUTs، وهي محاولات لدمج ثلاث من القوى الأساسية للطبيعة معاً. (وهو موضوع سأتفحصه بتفصيل أكثر عمقاً في الفصل الرابع ويكفي القول هنا أن الحقل المدرج يلعب دوراً مركزياً في ال GUTs). لقد افترض غوث أن حقله المتضخم سيكون واحداً من نموذج GUT للحقول المدرجة مما أعطاه مقداراً مهماً: **قوة الحقل**. وبإدخال قيمة قوة الحقل ضمن حسابات التضخم اكتشف أن مضاد الثقالة لن يطغى فقط بسهولة على الكون، ولكنه سيكون من القوة بحيث يضاعف حجم الكون كل ١٠ $^{-٣٤}$ ثانية (أي كل واحد على مئة تريليون تريليون تريليون من الثانية). لم يلحظ حدوث أي شيء في الطبيعة بهذه السرعة. ولوضع الأمر ضمن إطاره ففي الوقت الذي يتضاعف فيه قطر بقعة من الكون ينتقل الضوء مجرد واحد على تريليون

تريليون من السنتيمتر – وهذا بعيد جداً عن عبور ولو نواة ذرة واحدة. إن هذا تمدد هائل فعلاً.

إن التضخم فكرة جذابة حقاً وقد تقبلّها معظم علماء الكون. ومع ذلك فالقضية الهامة هي كيف وصل التضخم إلى نهايته. كيف خلّص الكون نفسه من تمدد هائل سريع ومنفلت؟ اقترح غوث أن حقل التضخم لم يكن مستقراً وبالتالي حكم عليه بالزوال. واقترح أن هذا الحقل تخافت بعد حوالي ١٠ $^{-٣٢}$ ثانية فقط، عاود الكون بعدها تمدده العادي المتباطئ. لا تبدو هذه المدة طويلة جداً لكن معدل التضخم هو بحيث ينتفخ الكون خلال ١٠ $^{-٣٢}$ ثانية بعامل ضخم جداً. وستمدد أية مادة موجودة قبل التضخم حتى تصبح كثافتها مهملة بحيث يبقى الكون فارغاً تماماً – فراغ. ومن الواضح أن الفراغ ليس وصفاً جيداً للكون اليوم أو حتى بعد ثانية واحدة. من أين إذن أتت هذه المادة كلها – الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات ..إلخ بعد توقف التضخم؟

لدى النظرية جواب جاهز. فالطاقة الهائلة المخزونة في حقل التضخم خلال مرحلة التضخم لابد أن تذهب إلى شيء ما عندما يتخافت الحقل وهذا الشيء هو تحولها إلى حرارة. وتمثل الموجات الميكروية الكونية الخلفية CBM التي تجتاح الكون اليوم – الإشعاع بعد خلق الكون – بقايا لطاقة حقل التضخم. وبالفعل فقد تحولت الطاقة الهائلة للتمدد خلال مرحلة التضخم إلى الطاقة الحرارية للانفجار الكبير التي تغطّي الآن الكون بكامله. والخطوة التالية هي تحويل الطاقة إلى مادة. وتخبرنا معادلة آينشتاين $E=mc^٢$ أنه طالما كانت هناك طاقة E كافية، لتسدد لكتلة m من المادة فإن الطريق ممهد لخلق المادة. وبوضع سرعة الضوء c في العلاقة والتحويل من طاقة إلى حرارة نجد أن بليون درجة مئوية – وهي درجة حرارة الكون بعد حوالي ١ ثانية – حارة بما يكفي لتقوم تلك الطاقة بخلق الإلكترونات. وفي أزمنة سابقة عندما كانت درجة الحرارة أعلى من ذلك صنّعت الجسيمات الأثقل كالبروتونات. وعند نهاية التضخم تسخن الطاقة الهائلة المطلقة الكون إلى حوالي ألف تريليون

تريليون درجة – وهي أكثر من كافية لتخلق ال $١٠^{٥٠}$ طن من المادة في الكون المرصود[٨] كلها.

مشكلة الخروج اللائق من التضخم

شكّل التضخم نظرية رائعة يندر ظهور مثلها في العلم. فهي في ضربة واحدة حلّت مشاكل عدة حول بنية الكون وقدّمت تنبؤات محددة جداً يمكن اختبارها. وقد قدّم أولها – وهو أن الكون يجب أن يكون مستوياً هندسياً – في وقت كانت فيه الشواهد الفلكية تقترح غير ذلك. لكن سلسلة من الملاحظات انتهت بالنتائج من WMAP أكّدت نبوءة الهندسة المستوية مما قدم دعماً قوياً لهذه النظرية.

وما إن دخلت الفكرة العامة للتضخم إلى علم الكون حتى استقرّت هناك. ومع ذلك فقد احتوت نظرية غوث الأصلية عيباً مميتاً – وهو ما دعي بمشكلة الخروج اللائق. فتخافت حقل التضخم عملية كمومية ولذا فإطلاقه محكوم بالتذبذبات الكمومية المعهودة غير المتنبأ بها. ونتيجة لذلك فهي تتخافت بأوقات مختلفة في أماكن مختلفة، على شكل فقاعات موزعة بشكل عشوائي – فقاعات من فضاء أي فقاعات تخافت فيها حقل التضخم، محاطة بمناطق من الفضاء لم يتخافت فيها. وستتركّز الطاقة المطلقة من حقل التضخم المتخافت في جدران الفقاعة. وسيؤدي اصطدام الفقاعات إلى إطلاق هذه الطاقة على شكل حرارة، لكن العملية ستكون عشوائية تماماً وستولّد من عدم التجانس مقدار ما صمم التضخم لإزالته. تصدّى عدد من علماء الكون الذين وجدوا فكرة التضخم جذابة لهذه النواقص[٩]. وكان الحلّ هو إيجاد مخطط نظري يتجنب اصطدام الفقاعات، ويسمح لها بالنمو إلى حجم أكبر بكثير من الكون المرصود. إن إحدى الطرق لتحقيق ذلك والتي دعيت **بالتضخم الدائم** لها تأثير هام على مسألة لماذا كان الكون ملائماً للحياة، وسأقوم بشرحها بتفصيل أكثر لاحقاً.

تموّجات من حافة الزمن

إذا كان التضخم مدّ الفضاء بعامل هائل جداً فقد تتوقع أن يكون الكون ناعماً جداً في نهايته. ولكن لو كان الأمر كذلك لما كانت هناك فرصة لوجود حياة: فبدون المجرات والنجوم لن تكون الحياة ممكنة. إن التذبذبات الحارة والباردة في ال CBM الموضحة في الشكل ٣ هي بذور بنية أكبر. ولكن من أين أتت هذه التذبذبات؟ كيف أنتج التضخم كوناً ناعماً تقريباً وإن كان غيركامل؟

كان هناك مسبقاً جواب مقنع – على الرغم من أنه ربما كان غير صحيح – مع ظهور نظرية التضخم الأصلية. وفي الحقيقة فقد جاء هذا الجواب قبلها. ويبدو أن سبب التذبذبات الكونية قد يقع في الميكانيك الكمومي. إن القراء الذين يلمّون بالفكرة الرئيسة في الميكانيك الكمومي يعرفون أن مبدأ عدم التأكد لهايزنبرغ يقود إلى وجود تذبذبات لا يمكن خفضها في كل المقادير الفيزيائية (وسيجد القراء الذين لا عهد لهم بالميكانيك الكمومي ملخصاً عنه في الصندوق٤). وبتطبيق الميكانيك الكمومي على التضخم يمكننا أن نتوقع تضخم بعض مناطق الفضاء أكثر، أو أقل بقليل من مناطق أخرى منتجاً بالتالي بنية مموجة فوق النعومة الشاملة للكون. إن التذبذبات الكمومية الواضحة محصورة عادة بالمقياس الذري. وإذا كان هذا التفسير للتموجات الكونية صحيحاً فقد تضخمت التذبذبات بالمقياس الذري كثيراً وارتسمت بشكل كبير في السماء.

الصندوق ٤ غرابة الكمومية

بنيت فيزياء القرن العشرين على نظريتين ثوريتين: النسبية والميكانيك الكمومي. ويشكل كلاهما جزءاً أساسياً من وصفنا للكون. لقد بدأ الميكانيك الكمومي كنظرية تنطبق على المادة بالمقياس الذري وتحت الذري. لكن معظم الفيزيائيين يعتقدون أنها تطبّق على كل شيء بما في ذلك الكون والزمن وبكافة المقاييس. ومع ذلك فالتأثيرات الكمومية الواضحة محصورة بالمقياس الذري

بشكل رئيس. (ربما كان الاستثناء البارز هو بنية الكون الضخمة – التي هي واضحة تماماً).

بدأت النظرية الكمومية عام ١٩٠٠ باقتراح ماكس بلانك بأن الإشعاعات الحرارية التي يصدرها جسم ساخن تكون على شكل كميات محددة صغيرة أو كم quanta. وقد مد آينشتاين هذه الفكرة على الفوتونات الضوئية التي اعتبرها على شكل جسيمات صغيرة جداً. لكن من المعروف أن الإشعاع الكهرطيسي كالضوء والحرارة يتصرف كموجة ولذا فإن تلك الأفكار الأولية عن الكم تعني وبشكل غريب بأن للضوء طبيعة موجية ومادية في الوقت نفسه، مما سبب كثيراً من التشويش. وفي العشرينات وجد أن الجسيمات المادية كالإلكترونات لها طبيعة موجية أيضاً. وبذا فقد أصبح واضحاً أن الحقيقة في مجال الذرات غريبة جداً وأن ثنائية (موجة – جسيم) خاصة اساسية. وتعتمد الناحية التي تظهر بها هذه الثنائية موجة – جسيم، على شكل التجربة أو الملاحظة التي تجرى. ومن غير الممكن القول بصورة عامة فيما إذا كان الفوتون (أوالبروتون أو الإلكترون أو.....) هو «**حقاً**» موجة أم جسيم لأنه يتصرف وكأنه الاثنان معاً.

وهناك مبدأ رئيس في الميكانيك الكمومي له علاقة وثيقة بهذا الغموض، وهو مبدأ عدم التأكد لهايزنبرغ. يمنع هذا المبدأ أي جسم كمومي من أن يمتلك **مجموعة** كاملة من الخصائص الفيزيائية المعروفة في آن واحد. ففي الحياة اليومية قد نسبغ على جسم ما مثل كرة خصائص عدة، كالموقع والسرعة والدوران والطاقة مثلاً. وتسبغ هذه الخصائص على الجسيمات تحت الذرية كالإلكترونات أيضاً، ولكنها لا تمتلك كلها قيماً محددة في الوقت نفسه. فقد نحدد موقع إلكترون في نقطة ما من الفضاء وبالتالي نسبغ عليه موقعاً محدداً، ولكن بحسب مبدأ عدم التأكد لهايزنبرغ، لا يمكننا أن نسبغ عليه أيضاً حركة محددة. وبالمقابل، فقد نحدد سرعة إلكترون ولكن موقعه سيكون غير محدد بدقة. إن درجة عدم التأكد الكمومية ليست اعتباطية، ولكنها محددة بدقة بمبدا عدم التأكد لهايزنبرغ. تشير القيم إلى أن عدم التأكد الكمومي مهم بالنسبة للجسيمات الذرية

وتحت الذرية، ولكنه يصبح أقل اهمية بكثير بالنسبة لأنظمة أكبر وأكثر تعقيداً. ويحدد مقدار التأثيرات الكمومية بعامل يدعى ثابت بلانك، الذي يمكن تحديد قيمته بالتجربة ويشار إليه بالحرف h. وهو أحد الثوابت الرئيسة في الفيزياء، إضافة إلى سرعة الضوء c وثابت نيوتن في الثقالة G (انظر الصندوق ٦).

يعتبر معظم الفيزيائيين عدم التأكد الكمومي خاصة ذاتية، وليس نتاجاً لجهل الإنسان أوعجزه في إجراء القياس. ويمكن للمرء أن يعبر عن هذا بالقول بأن الإلكترون نفسه غير متأكد من خصائصه. ولذا لا يمكن تخفيف عدم التأكد الكمومي ب «**النظر بشكل أدق**». وبهذا الصدد فإنه على نقيض الصدفة العشوائية في لعبة الروليت أو تقلب أسعار البورصة مثلاً. وبالتأكيد فإن لتغير الأسعار في البورصة أسبابه: فلو بدا عشوائياً وغير متوقع، فإن ذلك يعود إلى أنه ليس لدى البشر المعلومات التي يحتاجونها كلها لمعرفة هذا التغير. لكن العشوائية الكمومية بالمقابل، لا يمكن عكسها أو تخفيضها مما يعني أن العمليات الكمومية هي بمعنى ما تلقائية أصيلة – بدون أي سبب محدد.

ويمكن تصور عدم التأكد الكمومي أحياناً، بشكل تقريبي بحسب **التقلبات**. ويمكن للمرء أن يفكر بخاصة ما، مثل موقع إلكترون على أنها تتقلب: فالإلكترون يتقلب تلقائياً بطريقة غير قابلة للتنبؤ.

إن الكميات المقاسة كلها تخضع للتقلبات الكمومية بمقدار يحدد بمبدأ عدم التأكد لهايزنبرغ. إن أحد النتائج لذلك، هو أن وضعين متطابقين قد ينتجان نتيجتين مختلفتين. وعلى سبيل المثال، تصور إطلاق إلكترون مباشرة على ذرة: فقد ينحرف إلى اليمين أو إلى اليسار بالاحتمال نفسه. إذا أجريت التجربة اليوم فقد ينحرف إلى اليسار. ولكنك إذا استطعت إجراء التجربة غداً، تحت ظروف **مطابقة** فقد ينحرف نحو اليمين.

وعلى الرغم من أن نظرية الميكانيك الكمومي يمكن أن تقدم احتمالات للرهان فلن يعرف المرء بشكل عام مقدماً ما الذي سيحدث في كل حالة. ويقدم الإشعاع النووي مثالاً على ذلك. فنوى اليورانيوم غير مستقرة، وتتخافت خلال

بلايين السنين. ولكل نواة احتمال معين لتتخافت خلال فترة زمنية محددة، عبر عملية كمومية عشوائية، ولكن من المستحيل مقدماً معرفة متى ستتخافت نواة معينة. وبالمثل تخافت ذرة مهيجة تصدر فوتوناً: فللعملية احتمال محدد ولكن لا يمكن التنبؤ بحادثة معينة. ولا ينطبق عدم التأكد الكمومي على الجسيمات فقط، وإنما ينطبق على الحقول أيضاً، ولذا فالحقل الكهرطيسي، على سبيل المثال، خاضع لتغيرات عشوائية في الشدة حتى ضمن فراغ تام بحيث يكون متوسط شدة الحقل صفراً. ويمكن أن تعطى هذه التقلبات في الفراغ وصفاً مكافئاً بحسب «الفوتونات الافتراضية» التي تظهر وتختفي تلقائياً في فضاء فارغ. لقد تبين أن التقلّبات الفراغية مهمة لفهمنا للطاقة المعتمة ولمضاد الثقالة اللتين يعتمد عليهما مصير الكون بكامله. إن عدم التأكد الذاتي للطبيعة هو الذي دعا آينشتاين – الذي كان يكره الميكانيك الكمومي – ليعلن (**خطأً**) أن «الله لا يلعب النرد بالكون».

وللميكانيك الكمومي الكثير من الخصائص الغريبة الأخرى. وعلى سبيل المثال، فهو يتنبأ بأنه يمكن للجسيمات أن تمتلك لفاً ذاتياً بعدد محدد من الوحدات الأساسية، ويمكن أن يتجه في اتجاهات محددة مسبقاً. ويمكن للجسيمات الكمومية أن تمر عبر حواجز القوة، وأن تلتف حول الزوايا، أو تخرج من أماكن عدة في وقت واحد. وسيتبين أن بعض هذه الخصائص مهمة في قصة الحياة، وعلى الأخص بالنسبة للكون الأولي جداً.

قمت فعلاً ببعض العمل على هذا الموضوع بنفسي. ففي السبعينات كنت أعمل في قسم الرياضيات التابع للكلية الملكية في جامعة لندن محاولاً فهم التأثيرات الكمومية في أوضاع كونية مختلفة. كان هناك شعور عام أنه على الرغم من أن الميكانيك الكمومي سيكون غير هام بالنسبة لديناميكية الكون اليوم، إلا أن تأثيره كان هاماً مع بداية الكون عندما كان الكون مضغوطاً جداً. لقد ساعدني في عملي طالب اسمه تيم بنش Tim Bunch. قررت أنا وتيم أن نبحث في التأثيرات الكمومية في كون تمدد بمعدل أسّي –

أي أنه استمر في مضاعفة حجمه ضمن فترات محددة من الزمن. واخترنا نموذجاً خاصاً من الأكوان يعرف من قبل الفلكيين بكون دي سيتر على اسم وليام دي سيتر Willem de Sitter الذي كان أول من وصفه عام ١٩١٧ ليس لاعتقادنا أن الكون الحقيقي يشبهه، ولكن لأننا بتبنيه يمكننا أن نحل العلاقات تماماً. ففي الفيزياء النظرية يعادل حل تام لعلاقة ما مائة تقريب رقمي.

ولذا قررنا أن نطبق النظرية الكمومية على كون دي سيتر. ووجدنا أنه من نواح عدة ليس هناك تأثير لتمدد الكون. جاء هذا كنوع من المفاجأة في ذلك الوقت لأن معظم الحسابات أظهرت أن تمدد الكون يؤدي عادة إلى خلق جسيمات (أو كمومات) مثل الفوتونات في فضاء فارغ من الفراغ[١٠]. ويحدث هذا لأن التمدد يهيّج و يشوه أية حقول كالحقل الكهرطيسي الذي ربما كان يجتاح الفضاء. وهذا التأثير عادة ضئيل جداً على الرغم من أنه ربما كان هاماً بعد الانفجار الكبير مباشرة. وعلى كل حال فقد وجدنا أنه **لا يوجد** في كون دي سيتر مثل هذا الإنتاج للجسيمات، وهي نتيجة غريبة يمكن إرجاعها إلى الطبيعة الأسّية للتمدد، وإلى تناظر الزمكان المؤسس لذلك. ولكن هذا لا يعني أن تمدد الفضاء في نموذج دي سيتر لا يملك أي تأثير كمومي على الإطلاق. فهو يملك ذلك. وعلى الأخص فحالة الفراغ في فضاء دي سيتر لا زالت معرضة لتذبذبات كمومية، يمكن اعتبارها بتساهل على أنها جسيمات خلقت ولكنها حطمت بسرعة مرة أخرى، وهي تأتي وتذهب في رقصة خالدة (دعيت هذه بالجسيمات الافتراضية). ولذا ليست هناك محصلة ربح أو خسارة في الجسيمات ولكن هناك الكثير من النشاط الكمومي الزائل.

لم نكن نعلم عندما كنا نقوم بهذا العمل في أواخر السبعينات أن هذا سيكون تماماً خلال سنوات قليلة، ما كنا نحتاج إليه لوصف تغيرات الكثافة في الكون المتضخم. ولحسن الحظ، فقد ظهرالنموذج الذي اخترناه – فضاء دي سيتر – على أنه وصف دقيق لكيفية تصرف الكون عندما يتضخم. لقد اخترنا فضاء دي سيتر لأسباب أكثر عملية: ليحصل تيم على الدكتوراه بدون أن

أن يكون عليه أن يستخدم الحاسوب لإنجاز الحسابات. مثل هذا الشيء يؤدي إلى تقدم العلم.

ما الذي حدث قبل الانفجار الكبير؟

يتقبّل معظم الناس فكرة أن الكون كما نعرفه بدا فجأة بانفجار كبير. ولكن لا بد لهم من أن يسألوا سؤالين صعبين يتعلق أحدهما بالآخر: ما الذي سبّب الانفجار الكبير؟ ماذا حدث قبل ذلك؟ إن الأسئلة التي تثار حول أصول الأشياء لا تزال مثيرة، وعلى الأخص السؤال عن أصل الكون نفسه. إن التفكير بالأصل له التأثير المدهش: كيف يمكن لشيء غير موجود مسبقاً أن يأتي للوجود؟ هناك نوع واحد فقط من التفسير يبدو أنه مقبول بداهة: لا بد أن ينشأ الشيء الجديد بصورة ما، نتيجة تحول شيء سابق مختلف وكما كتب لوكريتيس «لا يمكن لشيء أن يأتي من لا شيء»[11]. قد يكون المكافئ الحديث لهذا «ليس هناك ما يدعى غداءاً مجانياً ». ربما، ولكن عندما يكون الشيء المعنيّ هو الكون بأكمله، فقد يتجاوز هذا المأثور البسيط حدوده. ويعتقد البعض على الأقل من علماء الكون أن الكون قد يكون الغداء المجاني الأخير.

هل يمكن لنظرية التضخم أن تساعدنا في فهم سبب الانفجار الكبير؟ الجواب هو نعم ولا. فالتضخم بطبيعته **يمحو** سجلّ ما حدث قبله. هذه هي النقطة الأساسية. لقد اعتاد فرد هويل، الذي كان كما ذكرت من قبل متشكّكاً بنظرية الانفجار الكبير بكاملها أن يمزح بالقول بأن نظرية الانفجار الكبير تقول فقط «إن الكون هو على ما هو عليه لأنه كان على ما كان عليه». كان هذا القول صحيحاً في الأيام الأولى للنظرية فلم يكن الانفجار الكبير نفسه مفسراً: كان حدثاً طرح ليفسر الحقائق ولكنه كان حدثاً بدون سبب واضح وخارج نطاق العلم تماماً. ولتفسير الكون الذي نراه، كان من الضروري وضع الشروط الابتدائية المطلوبة في النظرية يدوياً والتي تقود لما نراه اليوم بدون أي تبرير. يمكن للمرء أيضاً أن يضع أية شروط ابتدائية ويحصل على وصف لأي كون يختاره. لكن التضخم يعالج هذه المسألة بتمكيننا من تفسير

العديد من خصائص الكون الأساسية كنتاج لعمليات فيزيائية خلال عملية التضخم بدل أن نعزوها إلى شروط ابتدائية اعتباطية. وعلى الرغم من أن هذا جيد، إلا أن هناك ثغرة: يبدو أنها تضع الأصل **الأولي** للكون خارج نطاق الممكن. ومن جهة أخرى، يمكن للنظرية التي تصف التضخم نفسها أن تقدم لنا دلائل حول كيف بدأ التضخم أولاً وقد تقدم مؤشرات على الحالة الفيزيائية التي سبقته.

دعني أتناول هذا الموضوع خطوة فخطوة. إن المناقشات حول الأصل الأولي للكون معروفة بمزالقها ولذا سأتقدم بحذر كي لا أضيف إلى هذه الفوضى. سأبدأ بإهمال التضخم للحظة، وتبنّي نموذج غير جيد للكون: كرة مدوّرة تماماً من المادة محاطة بفراغ لا متناه. إننا نعلم أن الكون يتمدد، ولذا يجب أن تكبر الكرة مع مرور الوقت. في الماضي كانت أصغر. وإذا ما أجرينا التمدد بالعكس لـ١٣,٧ بليون عام فستتقلص الكرة لتصبح على شكل نقطة صغيرة لا أبعاد لها. وبعد ذلك ماذا..؟ لا شيء – لقد اختفت الكرة! العب الأحداث نحو الأمام وسيبدأ الكون عندها بالظهور من لا شيء عند **نقطة وحيدة**، ثم ينتفخ بعد ذلك، ثم يتمدد أخيراً إلى أبعاد كونية. دعنا الآن نتناول ما قصد بـ «**لا شيء**» في الوصف السابق. من الواضح أنها تعني فضاء فارغاً. إذا التقط هذا الوصف الطريقة الأساس التي وجد بها الكون، فستبقى لدينا معضلة. لماذا كان على كرة من المادة أن تظهر فجأة من العدم، في لحظة معينة من الزمن، وفي موقع محدد من فضاء فارغ سابق عندما لم يحدث هذا الشيء من الأزل حتى تلك اللحظة؟ ما الذي سبب حدوثه، وحدوثه في لحظة بعينها وفي موقع بعينه؟ ليس هناك جواب شاف.

أثرت معضلة مشابهة على اللاهوت المسيحي القديم. تساءل الملحدون بسخرية «ما الذي كان الله يفعل قبل أن يخلق الكون؟». لو كان الله كاملاً وغير متغير كما ادّعى اللاهوتيون، فليس هناك شيء يميّز لحظة معينة من الزمن لخلق الكون عن اللحظات السابقة اللامتناهية التي لم يخلق الله نفسه،

في الحالة نفسها، الكون. لقد كان الجواب البارع على السؤال حول ما كان الله يفعله هو «كان مشغولاً بخلق الجحيم لأمثالك»! لكن الانتقاد حقيقي وعميق جداً، ويعالج الفكرة المتناقضة ظاهرياً، حول **كائن لا زمني** يعمل ضمن زمن. لقد قدم القديس أوغسطين جواباً ذكياً لذلك بملاحظته أن المشكلة لا تتعلق بطبيعة الله بل بطبيعة الزمن نفسه.

الخلق من لاشيء

سأقدّم جواب أوغسطين قريباً لكن دعني أولاً أعطي نموذجاً أكثر واقعية للانفجار الكبير. فالكون ليس كرة من المادة محاطة بفضاء فارغ كما شرحت مطوّلاً في الفصل الثاني. لكن سطح الكرة قد يكون تمثيلاً جيداً **للفضاء نفسه**. تذكر التحذيرهنا: الفضاء ثلاثي الأبعاد بينما سطح الكرة ثنائي الأبعاد. ولذا فسطح الكرة نموذج تمثيلي وليس وصفاً دقيقاً: فداخل الكرة والفضاء المحيط بها ليسا جزءاً من الكون المادي المناقش هنا. إنهما مجرد أدوات تساعد على التخيل. بعض الناس يستسلمون عند هذه النقطة لأنه لا يمكنهم تخيل سطح كروي ثلاثي الأبعاد (كرة متضخمة). ولكنني أحثّك على أن تبقى معي.

دعنا مرة أخرى نبدأ الفيلم رجوعاً نحوالوراء. يتقلص سطح الكرة نحو مركزها حتى تتجمع نقاط السطح كلها في نقطة واحدة. وبعد ذلك..... لا شيء. ولكن «**لا شيء**» في هذه الحالة ليس فراغاً محيطاً لأن الفضاء الوحيد المهم – الفضاء المادي – ممثل **بسطح** الكرة وقد اختفى هذا كلية. ولذا في هذه المرة فإن اللاشيء قبل الانفجار الكبير هو حقاً «ليس شيء» – ليس مادة ولا فضاء. **لا شيء**.

يتألف الكون الحقيقي من أكثر من فضاء متمدد: فهناك بالطبع مادة أيضاً. ومع انضغاط الفضاء إلى الحجم صفر تصبح كثافة المادة لا متناهية، وهذا صحيح سواء كان الفضاء متناهياً أم غيرمتناه – ففي الحالتين تضغط المادة بشكل لا متناه إلى كثافة لا متناهية. وفي نظرية النسبية العامة

لآينشتاين التي بني عليها هذا النقاش بكامله تفيد كثافة المادة (مع الضغط) في تحديد انحناء الزمكان أو تشوهه. ولو طبقت نظرية النسبية بدون نقد حتى حالة الكثافة اللامتناهية، فإنها تتنبأ بأن انحناء الزمكان سيصبح لامتناهياً أيضاً هناك. ويدعو الرياضيون **حد الانحناء اللامتناهي للزمكان بالمنفردة** singularity. وفي هذه الصورة ينبثق الانفجار الكبير من منفردة. إن أفضل طريقة للتفكير بالمنفردات هي أنها **حدود أو حواف للزمكان**. وبهذا الصدد، فهي ليست – تقنياً– جزءاً من الزمكان نفسه بالطريقة نفسها التي لا يعتبر فيها حرف هذه الصفحة جزءاً منها.

ولذا فاللحظة الأولى للكون – في هذه الصورة المبسّطة جداً – ليست لحظة أو مكاناً على الإطلاق ولكنها **حافة** للحظات وأمكنة. قد يبدو هذا كلاماً متحذلقاً ولكن الخاصة الهامة للحافة، هي أنها تشير إلى تحذير بأن «لا شيء أبعد» ! تقول حافة الزمكان أنه لا يمكن للزمكان أن يستمر خلالها. وهذا كما هو متوقع. فعندما تحتوي نظرية فيزيائية على كمية لا نهائية تنهار العلاقات ولا نستطيع الاستمرار بتطبيق النظرية. ولذا فمنفردة الانفجار الكبير هي حافة حيث تقول نظرية النسبية العامة في واقع الأمر«اللا نهاية؟ هذا مستحيل! إنني أستسلم» وبالتالي ينتهي الزمان والمكان. ويجب القول بأن منفردات الزمكان ليست مسألة تقنية غامضة. لقد أسس روجر بنروز Roger Penrose وستيفان هاوكنغ Stephen Hawking اسميهما في الفيزياء النظرية بالبرهنة على عدة نظريات هامة في المنفردة في الستينات باستخدام تقانات رياضية أنيقة. وكرّس بعض زملائي حياتهم المهنية بكاملها لدراسة المنفردات كما حول موضوعها ليشكل الحلقة الأولى في مسلسل الخيال العلمي الدكتور من **Doctor who؟**

ذكرت أن الزمكان لا يمكن أن يستمر من **خلال** منفردة. ولكن للتحدث بدقة فليس هناك سبب لعدم إمكانية وجود الزمكان على طرف آخر بعيد عن منفردة. أي يمكننا تخيل التقاء زمكان آخر في منفردة الانفجارالكبيرمن

الطرف الآخر. ومع ذلك فهذا غير مبرر إطلاقاً. ولأن المنفردة تمثل انحناء وكثافة لا متناهيتين، ونهاية للنظرية الفيزيائية الأساسية التي تصف كل ذلك، فلا يمكننا الافتراض أن يتمكّن أي جسم أو تأثير فيزيائي من اختراق المنفردة، ولذا ليست هناك طريقة لمعرفة فيما إذا كان هناك شيء على الطرف الآخر البعيد منها أم لا. ولا يمكننا أيضاً أن نعطي معنى كبيراً للتأكيد بوجودها. فبعد كل شيء لن يكون الزمان والمكان هناك زماننا ومكاننا ولذا فالادعاء بأن الزمكان «**الآخر**» يأتي «**قبل**» الانفجار الكبير لا أهمية له. وإذا كانت إضافة هذا «**الزمكان الأسبق**» لا تحمل أية نتائج مادية لكوكبنا، فلن يحقق افتراضه أي هدف.

الانفجار الكبير كأصل لنشوء الزمن نفسه

تلامس الفكرة السابقة سوء فهم شائع آخر. لقد وصفت المنفردة في تشغيل فيلم بالاتجاه المعاكس، على أنها «**نقطة اختفاء**» الكون. ولكن لماذا كان عليه أن يختفي؟ أليس من الممكن أن لا تكون المنفردة هناك؟ في الوصف الذي يسير فيه الزمن نحو الأمام، ستكون هناك منفردة – فكر إذا شئت بنقطة ذات كثافة لا متناهية على شكل بيضة كونية لاحجم لها ولا شكل – موجودة للأبد عندما تنفجر فجأة! وفي تلك الحالة فإن ما جاء قبل الانفجار الكبير لم يعد «لا شيء» بل سيكون «منفردة». وتروّج بعض الأوصاف الشائعة لنشوء الكون لهذه الفكرة الملتبسة. ومع ذلك فإنها لا تنفع. إن نظرية النسبية العامة تربط المكان والزمان معاً لتشكل زمكاناً موحداً. فلا يمكن أن يكون لديك زمان بدون مكان، أو مكان بدون زمان، ولذا إذا كان من غير الممكن استمرار المكان رجوعاً خلال منفردة الانفجار الكبير فلا يمكن للزمان أن يفعل ذلك أيضاً. إن هذا الاستنتاج يحمل تبعات هامة. إذا كان الكون محدداً بمنفردة سابقة فإن الانفجار الكبير ليس أصل الكون فقط بل **هو أصل الزمان أيضاً**. وللإعادة: **لقد بدأ الزمان نفسه مع الانفجار الكبير**. ويتخلّص

هذا بأناقة، من السؤال الصعب حول ما حصل قبل الانفجار الكبير. فإذا لم يكن هناك زمان قبل الانفجار الكبير فالسؤال عندها لا معنى له. وبالطريقة ذاتها فإن التخمين حول ما الذي سبّب الانفجار الكبير لا معنى له أيضاً لأن الأسباب عادة تسبق التأثيرات. فإذا لم يكن هناك زمان (أو مكان) قبل الانفجار الكبير لوجود وسيط مسبب فيمكننا أن نعزو عدم وجود سبب **فيزيائي** للانفجار الكبير"[١٢].

يشعر الناس عادة بأنهم خدعوا عندما يقال لهم هذا وقد ينفعلون في بعض الأوقات بشدة كما لو أن النقاش بكامله لعبة لفظية ماكرة يستخدمها علماء ماكرون لتحيير منتقديهم. ويقول المشككون أن علماء الكون يتجنّبون إعطاء جواب مباشر حول ما حدث قبل الانفجار الكبير لأنهم لا يعرفون ولا يريدون الاعتراف بذلك. من الصحيح أن علماء الكون لا يعرفون الجواب ولكن هذا لا يعود لعدم قدرتهم على أن يأتوا ببعض الاحتمالات. وتمضي حجة الناقد عادة على النحو التالي. كيف يمكن للزمان أن يبدأ بهذا الشكل؟ **شيء ما** لا بد أنه سبق الانفجار الكبير. ومن الصحيح أننا نجد من الصعب تخيل تقفي تاريخ نشوء الكون إلى نقطة يتوقف عندها الزمان. ولكن في الحقيقة، فالفكرة ليست سخيفة و لا جديدة. لقد سبقنا القديس أغسطين إليها في القرن الخامس. كان جوابه المعتبر حول ما الذي كان الإله يفعله قبل خلق الكون هو «**خلق الكون مع الزمان وليس في الزمان**»[١٣]. كان إله أغسطين كائناً يسمو على الزمان وموجوداً خارجه تماماً، وهو المسؤول عن خلق الزمان والمكان والمادة أيضاً. ولذا تجنب أغسطين بمهارة مشكلة لماذا خلق الكون في تلك اللحظة بالذات بدلاً من لحظات أخرى سابقة. **لم تكن هناك لحظات سابقة**. وينطبق تعليل مماثل على المسألة العلمية. لو أن الكون خلق «في زمان» لكان من غير الممكن أن يكون نتيجة لأية عملية فيزيائية ذات احتمالية محددة، لأنه لو تم ذلك لكان

الحادث قد حصل مسبقاً منذ زمن لا نهائي. ومن جهة أخرى لو أن الكون خلق «مع الزمان» فستختفي هذه المشكلة.

إنني أسأل أحياناً فيما إذا كان تعليق أغسطين التنبؤي يوحي بأن لديه كشفاً إلهياً حول خلق الكون. حسناً، كنت سأصدق ذلك لو أنه وضع علاقات آينشتاين بدل أن يصوغ عبارة مؤثرة. وفي الحقيقة، فلم يكن أول شخص توصّل إلى فكرة خلق الزمان مع الكون. قال أفلاطون الشيء نفسه تقريباً قبل ذلك بمئات السنين. إن تاريخ الفلسفة غني ومتنوع جداً بحيث من المستغرب أن لا تكون النظريات الناتجة عن العلم قد ذكر ما يشبهها بطريقة غامضة من قبل شخص ما. إن الشيء الهام حول عمل آينشتاين هو أنه أظهر بطريقة دقيقة وقابلة للاختبار وباستخدام نظريات رياضية مفصلة كيف أن الزمان والمكان **جزءان** من الطبيعة، وليسا حقلاً معطى تمثل ضمنه أحداث قصة الطبيعة العظيمة. والنتيجة هي أنه إذا حاولنا شرح نشأة الكون المادي فلا خيار لدينا سوى أن نحاول شرح نشأة الزمان والمكان أيضاً. ولذا فالقول بأن الزمان بدأ مع الانفجار الكبير يشكل نقطة البداية الصحيحة.

هل كان الانفجار الكبير حقاً قفزة كبيرة؟

إن الاعتراض الأكثر جدية للوصف الذي قدمته حتى الآن هو أنني افترضت هندسة منتظمة تماماً، وكوناً مليئاً بالمادة بكثافة متجانسة. ومن الواضح أنهما فرضيتان مثاليتان جداً. تصور كرة مشوهة تتقلص بدون حدود. في هذه الحالة لن تتقارب النقاط المختلفة على السطح كلها بطريقة منتظمة ومتسقة نحو نقطة واحدة إلا إذا كانت تتقارب بسرعات متباينة وتتفق على أن تصل إلى نقطة الالتقاء في اللحظة ذاتها. هل هذا ممكن؟ لا، كما تبين بعد ذلك. إن تجمعاً غير منتظم للجسيمات يتحرك بحسب علاقات النسبية

العامة لن يلتقي كله في نقطة واحدة ولكنه على الغالب سيخطئ أحده الآخر. ما الذي يحدث إذن إذا عرضت قصة خلق الكون في الاتجاه المعاكس، وراقبت الأجزاء وهي تفشل في التجمع مع بعضها بعضاً وتابعت العرض؟ ما ستجده هو أن العناصر المقتربة من بعضها بعضاً تدخل في حالة من الهياج، ثم تبدأ بالابتعاد عن بعضها بعضاً مرة أخرى. إن عرض القصة في الاتجاه الأمامي من الماضي السحيق يصف كوناً يتقلص من حجم كبير ثم ينهار بعنف إلى كثافة عالية جداً ثم يجيش مرة أخرى. لقد استبدل الانفجار الكبير بالقفزة الكبيرة.

هل يمكن للكون الحقيقي أن يكون كذلك؟ منطقياً ليس هناك سبب أن لا يكون ولكن هناك بعض المشاكل العلمية الخطيرة لهذه الفكرة. الأولى هي أنها تستبدل مشكلة واحدة – لماذا كان هناك انفجار كبير؟ – بأخرى: لماذا كان هناك كون متقلص بالأجزاء الصحيحة كلها في الأماكن الصحيحة تتحرك معاً في الاتجاه الصحيح لتتجمع معاً في تجمع كثيف ولتقلد انفجاراً كبيراً متماسكاً؟ كيف جاء هذا الكون المتقلص إلى الوجود في المقام الأول؟ إن الرد ب «أنه كان دائماً موجوداً» ليس بجواب مقنع. فلا نفسر شيئاً بالقول أنه كان هناك دائماً. إن النسخة الأخرى لهذه الفكرة هي القول بالقفزات – المتعددة أو بالكون الدوري حيث يتمدد الكون من الانفجار الكبيرليصل إلى قيمة عظمى ثم يتقلص مرة أخرى إلى قفزة كبيرة تطلق دورة أخرى من التمدد والتقلص.... وهكذا إلى ما لا نهاية. ومرة أخرى لا يفسر وجود مثل هذا الكون بمجرد القول أنه كان دوماً يقفز بسرور وهو يمضي في طريقه.

ويتعلّق اعتراض آخر بما يدعى **القانون الثاني** في الثرموديناميك. يركّز هذا القانون في أكثر صيغه شمولاً على العمليات اللاعكوسة – وهي أي شيء يمكنه أن يذهب في اتجاه وليس في الاتجاه المعاكس. ومثال جيد على هذا هو انهيار نجم إلى ثقب أسود: فلا يمكنك الحصول على النجم مرة أخرى. تتم أية عملية لا عكوسة في الكون بمعدّل معين (على سبيل المثال

احتراق نجم أو انهيار نجمي) لتصل إلى حالتها النهائية في زمن محدد. وفي تلك الحالة لو كان الكون قديماً إلى ما لا نهاية فيجب إذن أن يكون في حالته النهائية الآن. ومثل ساعة تتوقف فمن المفترض أن تكون ساعة الكون العظيمة قد توقفت الآن. ومن الواضح أنها لم تفعل ذلك.(انظر الصندوق ٥) [١٤].

الصندوق ٥ لماذا لايمكن للكون أن يكون قد وجد للأبد

بحلول عام ١٨٥٠علم الفيزيائيون حول القانون الثاني في الثرموديناميك الذي يحرّم الآلات دائمة الحركة. وعلى سبيل المثال، لا يمكن لأي محرك أن يعمل إلى ما لانهاية دون إعادة تزويده بالوقود. وبالنسبة للشمس والنجوم الأخرى فإن القانون الثاني في الثرموديناميك يعني نهايتها المحتّمة. فالشمس التي تدعم معظم الحياة على الأرض ظلتِ تشع بشكل ثابت (وفي الحقيقة أصبحت أكثر إشعاعاً بقليل) ل ٤,٥ بليون عام. ونعلم اليوم أنها تستمد طاقتها من التفاعلات النووية في لبّها، غير أن أحداً لم يعلم بذلك عام ١٨٥٠ ولكن من الواضح أنه كان هناك مصدر للطاقة من نوع ما وليس هناك مصدر للطاقة غير قابل للنفاذ. فالشمس لا تستطيع الاستمرار بالاحتراق للأبد: فعاجلاً أم آجلاً سينفد مخزونها من الوقود. و يظهر حساب بسيط أنها في منتصف دورة حياتها. وبعد حوالي ٤ إلى ٥ بليون عام ستقع في مشكلة وستنتهي بالانهيار إلى ما يدعى بقزم أبيض. والقصة مماثلة بالنسبة للنجوم الأخرى: فهي ليست خالدة. فالنجوم تولد وتموت. وبما أن هناك كمية محدودة من المادة الخام (غاز الهيدروجين بشكل رئيس) في مجرتنا ومجرات أخرى سيأتي الوقت الذي لا تصنع فيه نجوم جديدة، وستنتهي النجوم الموجودة وتمضي أيامها كثقوب سوداء ونجوم نيوترونية أو أقزام سوداء. لقد كان هذا الميل العام واضحاً في القرن التاسع عشر، وأشير إليه بالموت الحراري للكون. ومع ذلك لم يستنتج أحد في ذلك الوقت النتيجة الواضحة: لا يمكن أن يكون الكون قد بقي للأبد بدون تغيير، على الأقل في حال تشبه حالته الحالية وإلا فسيكون مسبقاً مقبرة نجمية. وعلى هذا الاستنتاج أن ينتظر حتى القرن العشرين واكتشاف تمدد الكون من قبل دي سليفر وهوبل وهو التطور الذي قاد إلى نظرية الانفجار الكبير لأصل الكون.

إن المشكلة النهائية بخصوص نظرية القفزة الكبيرة هي أنه تحت مجال واسع من الشروط لا يزال يتشكل نوع من المنفردة (بحسب نظرية النسبية العامة). ومن الصحيح أن المنفردة لن توقف الكون بكامله – أي أن بعض المادة الساقطة قد تخطئها – ولكنها تعني أننا لا نستطيع تجنب مواجهة قضية وجود حد للزمكان في الماضي بمجرد جعل الكون غير متناسب قليلاً.وإذا كان علينا أن نواجه منفردة على أية حال فمن الأجدى أن نجعلها منفردة انفجار كبير شامل بدل أن تكون منفردة قفزة كبيرة متوارية.

كان الوصف السابق هو الحكمة المعتمدة إلى حد بعيد عندما كنت لا أزال طالباً في الستينات. لقد قيل بأن الانفجار الكبير حدث بدون مسببات لأن منفردة الزمكان التي حدّدته تشير إلى انهيار الزمكان والفيزياء النظرية جاعلة أية أفكار يمكن تطبيقها عليه حول السبب والنتيجة لا معنى لها. **لقد بدا وكأن هذا سيضع نشأة الكون خارج نطاق العلم للأبد.** لكن علماء الكون كانوا على وشك الشروع في خطوهم وكان بعض المنظرين المغامرين مصممين أن يجدوا وصفاً علمياً شاملاً لمولد الكون. لقد أتى التقدم للأمام من جهة غير متوقعة نوعاً ما.

إلى أي مدى نحو الماضي يمكن أن ندفع نظرياتنا ؟

لمحاولة إعادة بناء قصة الكون الأولي علينا أن نطبّق أفضل معرفتنا بالفيزياء على الظروف القصوى بعد الانفجار الكبير مباشرة. وتقدّم فيزياء الجسيمات ذات الطاقة العالية بعض البيانات التجريبية التي يمكن استخدامها كمرشد. ولكن مع اعتبارنا للحظات أبكر وأبكر علينا أن نعتمد على نظريات أكثر تخميناً. وعلى سبيل المثال، يستخدم التضخم النظريات الموحدة العظيمة لفيزياء الجسيمات GUT التي لم تؤكّد تجريبياً حتى الآن.

وحتى النظريات الفيزيائية الراسخة قد لا تطبّق إذا عدنا إلى اللحظة صفر. ويستخدم العلماء الكلمة استقراء extrapolation عندما يأخذون فكرة أو

نظرية أو قانوناً في الفيزياء، ويطبقونه على مقياس مختلف من حيث الحجم أو الطاقة. والسؤال هنا هو إلى أي مدى يمكن استقراء نظرياتنا الفيزيائية رجوعاً إلى لحظة نشوء الكون قبل أن تصبح الشروط مبالغاً فيها جداً لتكون لنا ثقة بأنها لا تزال تنطبق بدون أي تعديل. إن الشيء المدهش بالنسبة لعلم الفيزياء هو المدى الذي يمكن فيه استقراء بعض نظرياته. فعلى سبيل المثال، تقدم نظرية ماكسويل في الكهرطيسية وصفاً رائعاً حول الخصائص الكهرطيسية ضمن الذرات ولكنها تنطبق أيضاًعلى الحقول المغناطيسية بين المجرات التي يكون نصف قطرها أكبر ب ١٠ ^٣٢^ مرة. إنها تصف تأثيرات الحقول المغناطيسية الضئيلة على الأشعة الكونية في الفضاء بين المجرات وتصرّف النجوم المنهارة التي تدعى النجوم المغناطيسية magnetars أيضاً لأنها تدعم حقولاً مغناطيسية أقوى ب ١٠^٢٠^ مرة.

ما تقييم نظرية النسبية العامة لآينشتاين في هذا الصدد؟ من الصحيح أن النسبية العامة تنجح نجاحاً باهراً سواء طبقت على مقياس النظام الشمسي أو على مقياس الكون. ولكن كيف نعرف أنها لا تزال تنطبق عندما يتقلص الكون إلى حجم كرة البليارد أو إلى ذرة؟ إنها بالتأكيد قفزة كبيرة في الإيمان لتطبيق **النظرية ذاتها** بكل المقاييس نزولاً إلى الحجم صفر.

وللفيزيائيين قاعدة تجريبية حول مسائل التكبير والتصغير. فإذا لم يكن للنظرية ضمناً وحدة طول – لا شيء لتثبيت المقياس الذي يمكن مقارنة العملية الفيزيائية به – فلا توجد طريقة للتنبؤ متى تتوقف النظرية أو إذا كانت ستتوقف على الإطلاق. إن نظرية ماكسويل في الكهرطيسية لا تحتوي مثل هذه الوحدة الأساسية للطول حتى عندما توحّد مع الميكانيك الكمومي. لكن الثقالة قصة أخرى. إن نظرية النسبية العامة لا تحتوي ضمناً وحدة طول ولذا يمكن مدّها صعوداً إلى أكبر حجم كوني أو هبوطاً حتى أصغر مدى زماني

ومكاني دون أن تعطينا دليلاً متى ستفشل أو فيما إذا كانت ستفشل. ولكن عندما تتوحد الثقالة مع الميكانيك الكمومي فإن وضعاً جديداً تماماً سيظهر. لقد لاحظ ماكس بلانك مؤسس نظرية الميكانيك الكمومي عام ١٩٠٠ أن الثابت الأساسي الجديد في الفيزياء – ما ندعوه الآن ثابت بلانك h وهو العدد الذي يحدد مقياس الظاهرة الكمومية – يمكن أن يتحد مع سرعة الضوء c وثابت الثقالة G لنيوتن (انظر الصندوق ٦) ليصنع كمية لها واحدة الطول[١٥]. وقد عرّفت هذه على أنها طول بلانك على اسم ماكس بلانك و تبلغ قيمتها حوالي $١٠^{-٣٣}$ سم أو $١٠^{٢٠}$ مرة أصغر من نواة ذرة. إن وجود مقياس الطول الأساسي هذا يقترح أنه إذا عولجت الثقالة بالميكانيك الكمومي فإن شيئاً هاماً سيحدث عندما يتقلص النظام المعني إلى حجم ثابت بلانك. وعلى الأخص نتوقع أن نظرية النسبية العامة لآينشتاين التي لا تقدم أية إشارة إلى الظاهرة الكمومية لا يمكن استقراؤها بدون تعديل إلى هذا الوضع: يمكن توقع انحراف كبير من تنبؤ النسبية العامةعند طول بلانك أو أقل منه[١٦].

إن المقياس الآخر لمعرفة متى ستصدم التأثيرات الكمومية بالثقالة هو ببناء وحدة طبيعية للزمن يمكن الحصول عليها بتقسيم طول بلانك على سرعة الضوء. ويعطي هذا ما يدعى بزمن بلانك وهو حوالي $١٠^{-٤٣}$ ثانية. وقد يتوقع المرء بناء على أسس عامة، أن تفشل نظرية آينشتاين عند هذا المقياس الصغير للزمن لتستبدل بنظرية كمومية للثقالة. وفي سياق نشأة الكون من الانفجار الكبير واحتمال وجود منفردة أولية فإن زمن بلانك يفيد كتحذير: علينا أن لا نثق بالنسبية العامة عندما تستقرأ إلى مجال صغير يقع ضمن واحدة زمن بلانك من منشأ الكون. ولن يؤثر هذا على التضخم على الأقل بالنسبة للنسخة التي وصفتها مسبقاً، والتي تحدث بعد ذلك بكثير (أي عند حوالي $١٠^{-٣٤}$ ثانية أو بليون زمن بلانك). لكن التأثيرات الكمومية

للثقالة لا بد أن تغير بشكل كبير كل الأشياء حول المنفردات والمنشأ الأصلي للكون. لقد كان هذا الإدراك هو الذي قاد إلى خلق حقل جديد من البحث: الكونية الكمومية.

الصندوق ٦ ما هي G؟

كما شرحت في الفصل الأول خمّن نيوتن بشكل صحيح أن شدة قوة الثقالة بين جسمين تتناقص مع مقلوب مربع المسافة بينهما. ويظهر الشكل ١ مخططاً لعلاقة القوة بالمسافة الفاصلة. لكن ليس هذا القصة كلها. لاحظ أنه لا توجد وحدات محددة على المنحني. يخبرنا قانون نيوتن كيف تتغير القوة نسبياً مع المسافة (أكبر ب ٤ مرات عند نصف المسافة.... وهكذا) لكنها لا تقول شيئاً حول الشدة المطلقة للقوة. لقد استنتج نيوتن بشكل صحيح أن الشدة تعتمد على كمية المادة التي يحتويها الجسمان – أي كتلتيهما. لكن لا زال هذا غير كاف. فإذا سألت ما قوة الثقالة بين كتلتين كل واحدة منهما ١ كغ ويبعدان ١ متر عن بعضهما بعضاً فلن تستطيع الحصول على الجواب من نظرية نيوتن وحدها. إن الطريقة الوحيدة للحل هي أن تقيسها وترى ماذا قررت الطبيعة. ومتى تم ذلك وبافتراض (كما فعل نيوتن مسبقاً) أن قانون الثقالة عام يحدد المقياس، وتقرر القوة المطلقة بالنسبة للكتل و المسافات كلها في أي مكان في الكون. (وبالنسبة للفضولي فالجواب هو ٦,٦٧٣ * ١٠ $^{-١١}$ م^{٣} كغ$^{-١}$ ثا$^{-٢}$).

من الصعب حقاً قياس قوة الثقالة بين كتلتين معروفتين لكن هذا حصل فعلاً. كانت الطريقة المبكرة هي معرفة كم يجذب جبل ما وزناً متدلياً بعيداً عن الشاقول، ثم تحديد شدة القوة بمعرفة كتلة الجبل بشكل تقريبي. ويمكنك اليوم الحصول على جواب محترم في المخبر باستخدام كرتين معدنيتين. إن قوة الثقالة بينهما ضئيلة لكن من الممكن قياسها باستخدام أجهزة حساسة. وعلى أية حال فالفكرة هي أنه يوجد ثابت أساسي للطبيعة – ثابت الثقالة لنيوتن والذي يشار إليه ب G – والذي يضرب بقانون القوة ليعطي القيمة الحقيقية للقوة. ولو كان أكبر بمرتين فستكون قوى الثقالة كلها في

الكون أقوى بمرتين (إذا بقي كل شيء آخرعلى حاله). دعني أؤكد مرة أخرى أنه لا يمكن **اشتقاق** G من نظرية نيوتن إذ يجب قياسها تجريبياً. و يعتقد معظم الفيزيائيين الذين جاؤوا بعد نيوتن أن G ثابت عام – أي أنه نفسه في الأماكن والأوقات كلها على الرغم من أنهم لا يعلمون لماذا هذه القيمة بالذات. وتمتلك قوى الطبيعة كلها الخاصة نفسها. فمهما كانت صيغة العلاقة الرياضية لقوانين القوى لا زالت هناك ثوابت غير محددة كلية (تدعى غالباً «عوامل» لأن قيمها يمكن أن تكون مختلفة) تحدّد الشدّات المطلقة للقوى ويجب قياسها بالتجربة من أجل معرفة قيمتها.

الكونية الكمومية

إن دمج الحدين المتطرّفين للفيزياء – الكونية وهي دراسة الكون والميكانيك الكمومي وهو دراسة النظم الذرية وتحت الذرية – أمر طموح بكافة المقاييس. لكن هذا لم يمنع بعض الفيزيائيين المتميّزين من العمل على هذا الموضوع. كان أولهم جون ويلر John Wheeler في الستينات والذي حاجج بأن عدم التأكد الكمومي سيزيل المنفردة ويستبدل الانحناء اللامتناهي للزمكان بشيء ألطف وأكثر تعقيداً. إن أحد الوجوه لرؤية ذلك هو مقارنة المنفردة برأس إبرة حادة لامتناهية. إن تطبيق الميكانيك الكمومي على إبرة حقيقية سيجعل موقع رأسها غير مؤكد نوعاً ما وفي الحقيقة سيجعله غير حاد. هل «سيقلّل» الميكانيك الكمومي من حدية منفردة الزمكان التي ربما كانت تحدّ ماضي كوننا؟ حسناً فالإبر شيء والمنفردة الكونية شيء آخر. ومن البداية يجب عند التعامل مع الثقالة الكمومية تطبيق الميكانيك الكمومي على الزمكان وليس على المادة. وهذا يثير مشاكل تقنية وفكرية عميقة.

وحتى لو أمكن التغلب على هذه الصعوبات، ستبقى مشكلة طبيعة الحالة الكمومية للكون. ولفهم هذه المشكلة فكّر بنظام بسيط جداً يحتاج شرحه للميكانيك الكمومي – ذرة الهيدروجين. يصف الميكانيك الكمومي بدقة كيف أن الالكترون الذي يدور حول البروتون يمتلك بعض الطاقات الكمية فقط. وتبدأ مستويات الطاقة هذه عند الحالة الأساسية – أخفض تشكيل طاقي –

وتستمر في سلسلة من **الحالات المثارة** الأكثر طاقة. ولذا للتنبؤ بتصرف ذرة هيدروجين محددة من الضروري تحديد الحالة الموجودة فيها أولاً بالضبط. وعلى سبيل المثال إذا كانت الذرة في الحالة الأساسية فستبقى ببساطة هناك لكنها لو كانت في أحد الحالات المثارة الأعلى فسيقفز الإلكترون هابطاً إلى الحالة الأساسية مصدراً فوتوناً أو أكثر. إن خيارات الحالة الكمومية لذرة الهيدروجين غير محدودة (يمكن للإلكترون على سبيل المثال أن يكون في واحد من عدد لا متناه من مستويات الطاقة العالية – انظر الصندوق ٦). وبالمثل فقد يكون الكون بكامله في واحد من عدد لا محدود من الحالات الكمومية المختلفة مما ينتج نتائج مختلفة من خيارات مختلفة – وهذا لا يساعد كثيراً. لذا أية حالة كمومية يوجد عليها الكون فعلاً؟ اقترح ستيفان هاوكنغ من جامعة كامبردج بالتعاون مع جيمس هارتل من جامعة كاليفورنيا سانتا باربرا في أوائل الثمانينات، أنه قد تكون هناك حالة كمومية «**طبيعية**» خاصة بالكون – نوع من الحالة الأساسية – وقد عبرا عنها بنموذج رياضي خاص[١٧].

كيف أمكن للكون أن ينشأ حرفياً من لاشيء

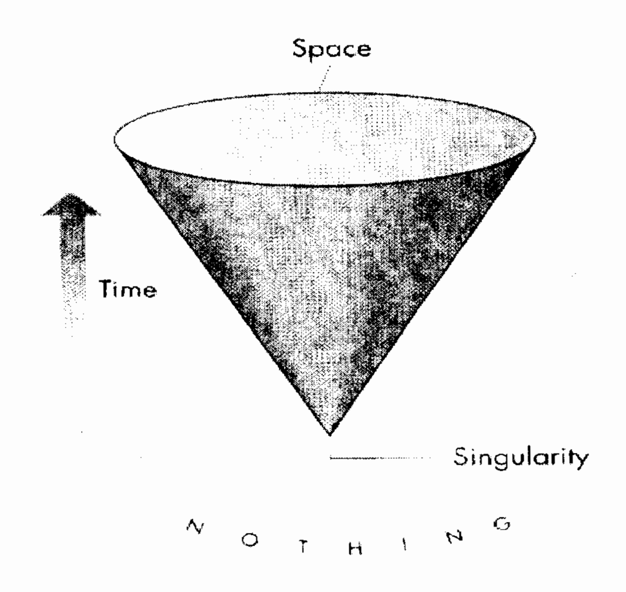
على الرغم من أن الفهم الصحيح للحالة الأساسية لهارتل- هاوكنغ يتطلب رياضيات متقدمة إلا أنه من الممكن إعطاء فكرة تقريبية بواسطة صورة. إن الخاصة الرئيسة للحالة المختارة هي الطريقة التي «ينشر بها» عدم التأكد الكمومي المكان والزمان. وبتطبيقها على جسيم كالإلكترون فإن عدم التأكد الكمومي يعني أن مكانه وحركته غير محددين نوعاً ما. (انظر الصندوق ٦). وبتطبيقها على الزمكان يتنبأ عدم التأكد الكمومي أن المكان والزمان نفسيهما غير محدّدين نوعاً ما: تنتشر النقاط في الفضاء واللحظات في الزمان. لكن الأكثر من ذلك أن الغموض الكمومي يعني توزيع **الكيانات المستقلة** للزمان والمكان. دعني أشرح ما أعنيه بهذا. في الحياة اليومية المعتادة فإن الزمان هو الزمان والمكان هو المكان – ليس هناك أي تناقض – على الرغم من أن الزمان والمكان هما تقريباً الشيء ذاته لكونهما جزءاً ومقداراً من زمكان موحد. ولكن في الحقل الكمومي تصبح هويتهما المحددة مشوشة. في

بعض الأوقات تتصرف فترات من الزمان مثل مجالات من المكان والعكس صحيح: يصبح المكان شبيهاً بالزمان ويصبح الزمان شبيهاً بالمكان. إن أزمة الهوية الناجمة عن ذلك – تنبذبات كمومية في المكانية والزمانية – صغيرة جداً: في الحقيقة فإنها محصورة إلى حد قريب أو بعيد بأطوال بلانك وأزمانه. لكنها يمكن أن تكون ذات أهمية بالغة في إطار نشأة الكون.

ولفهم كيف تتضمن الحالة الكمومية لهارتل – هاوكنغ تشتت زمان ممكن – مكان ممكن انظر إلى الشكل ١٥. إن هذا تمثيل تخطيطي جداً للكون المتمدد. يمثل الزمان شاقولياً والمكان أفقياً. لقد استبعدت بعدين للمكان وأبقيت على بعد واحد مرسوم على شكل دائرة (أي مكان مغلق). يمكننا أن نرى بنظرة خاطفة أن الكون يتمدد لأن نصف قطر الكرة يزداد بعد أزمان لاحقة. وبالمقابل كان في الماضي أصغر حتى بداية الزمن التي يرمز لها بالزمن صفر، فهو يتقلص إلى لا شيء وهي **منفردة** الانفجار الكبير. وفي هذه الصورة يبدو الزمكان مثل مخروط مقلوب لكن عدا القمة الحادة في قاعدته يجب عدم إعطاء اهتمام كبير للشكل. إن تأثير عدم التأكد الكمومي هو تحويل شكل المخروط قرب القمة بحيث يبدو كما في الشكل ١٦. لقد استبدلت النقطة الحادة اللامتناهية والتي تمثل منفردة الزمكان بنهاية على شكل طبق مدور. يبلغ نصف قطر هذا الطبق حوالي طول بلانك، ولذا فهو صغير جداً بالمقاييس البشرية لكنه ليس صفراً – وهذا شيء مهم. لذا فقد أزيحت المنفردة في هذا الوصف.

وبالترجمة إلى لغة الزمكان واستخدام وصفنا المعروف بعرض الفيلم رجوعاً فإن هذا الشكل يصف كوناً يتقلص باستمرار نحو نصف قطر يساوي الصفر ومن المقدر أن يصله في زمن محدد متنبأ به. لكن قبل أن يتم هذا الحدث الوحيد المنهي (قبله بزمن بلانك واحد تقريباً) يبدأ الزمان نفسه بالتشتت بسبب مشكلة الهوية ليبدأ بتبني مواصفات أكثر فأكثر شبهاً بالمكان. **لا ينقلب الزمان فجأة إلى مكان** – فالنموذج الرياضي المقترح من هارتل – هاوكنغ يتكفّل بذلك – لكنه يتلاشى باستمرار. وفي «أسفل الطبق» يصبح الزمان شبيهاً كاملاً للمكان. وباستخدام مصطلح الزمان المتجه إلى الأمام فإن هذا يعني أنه عند بدء

الكون كانت هناك حقيقة أربعة أبعاد للمكان حوّل أحدها نفسه إلى زمان. لم يكن هذا التحول عملية «انقلاب» فجائي للزمان على الرغم من أنها كانت بحسب المقاييس البشرية عملية سريعة جداً، واستغرقت حوالي زمن بلانك واحد (أو أنها بالأحرى كانت ستفعل لو وجد الزمان نظامياً). لكن المهم أنها لم تكن لحظية. لقد استبدلت النشأة الوحيدة للكون - وهي الحادث بلا سبب التي بدت وكأنها تضع نشأة الكون خارج نطاق العلم - في هذه النظرية بنشأة متدرجة ناعمة تخضع لقوانين الفيزياء في كل مكان [١٨].

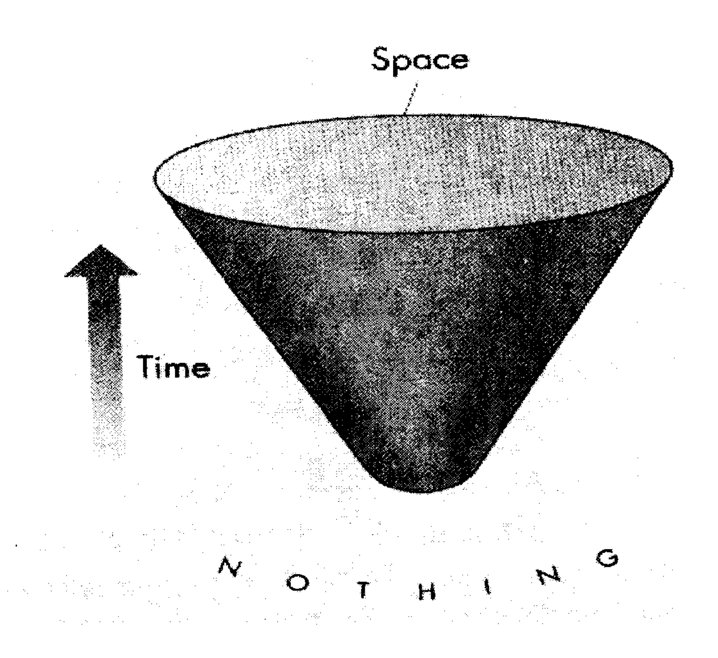


الشكل ١٥: المنفردة عند مولد الكون

في نموذج الانفجار الكبير القياسي، المؤسس على نظرية النسبية العامة لآينشتاين مع افتراض التجانس التام ينشأ الكون من حالة منفردة من الكثافة اللامتناهية ومن انحناء الزمكان اللامتناهي واللتين تبينان في هذا الشكل تخطيطياً على شكل قمة قمع مقلوب. ولتسهيل التخيل أظهرت المكان في بعد واحد ومغلق في دائرة (تمثل كرة متضخمة ثلاثية الأبعاد). إن المنطقة تحت القمع التي يشار إليها ب «لا شيء» والتي يبدو أنها تقع «قبل» الانفجار الكبير لا توجد كمنطقة فيزيائية في هذا النموذج. فالمكان والزمان كلاهما يبدآن من منفردة.

ما مدى جدية وصف هارتل – هوكنغ لنشأة الكون؟ ليست جدية تماماً في نظري. إن قيمتها تكمن بصورة رئيسة في أنها تطلعنا على ما يمكن أن تكون عليه نظرية فيزيائية حول نشأة الكون من لا شيء. وفيما إذا كانت النظرية كما صيغت صحيحة أم لا، فإنها تبين كيف يمكن للمرء أن يمر برشاقة بين عوائق مسألة مستحيلة ظاهرياً. وقبل عمل هارتل – هاوكنغ افترض إما أن الكون قد وجد دوماً بشكل أو آخر أو أنه كانت هناك لحظة أولى في الزمن، وهي لحظة وحيدة «بدأ منها» الزمان بدون سبب. لكن كون هارتل – هاوكنغ يعطي المرء كعكته الكونية ويدعه يأكلها أيضاً لأنه يمتلك خاصتين متناقضتين ظاهرياً. فهو من جهة محدود في الماضي – لا يمتد الزمن رجوعاً إلى اللا نهاية – ومن جهة أخرى لا يمتلك لحظة خلق محددة جيداً. ويمثل قعرالطبق في الشكل ٦ بمعنى ما الحد السابق للزمان من غير أن يكون لحظة أولى.

دعني أكرر بأن اقتراح هارتل- هاوكنغ لا يصف كوناً كان موجوداً على الدوام. فلا زال هناك انفجار كبير ولم يوجد أي كون قبله ولو لمكرو ثانية. لكن المحاولات لتحديد اللحظة الأولى فشلت إذ أنها ضاعت في عدم التأكد العام للميكانيك الكمومي. إن السؤال عما حدث قبل الانفجار الكبير – وما يوجد تحت «الطبق» – أمرعقيم. وبحسب كلمات هاوكنغ فإن هذا يشبه السؤال عما يقع شمال القطب الشمالي. الجواب هو لا شيء ليس لأن أرضاً سرية من لا شيء هناك ولكن لأن الحقبة «قبل الانفجار الكبير» مثل المنطقة «شمال القطب الشمالي» ببساطة غير موجودة.



الشكل ١٦ الأصل الكمومي للكون

في هذه الصورة التخطيطية، والمبنية على اقتراح هارتل وهاوكنغ، فإن الكون محاط في الماضي ولكن لا يوجد هناك منشأ من منفردة وحيدة انبثق الزمان منها فجأة. لكن الزمان أصبح مشابهاً للمكان باستمرار قرب البداية نتيجة لتأثيرات الميكانيك الكمومي.

وعلى الرغم من الترحيب بهذا التطور في إزالة النشأة السحرية للكون - دون التعارض مع مشاكل الكون الأبدي - إلا أن نظرية هارتل- هاوكنغ والمحاولات العديدة الأخرى التي بذلت لوصف الكون بحسب الميكانيك الكمومي تصطدم بمسألة مبدئية عميقة أخرى وهي: إما أن تكون نشأة الكون حدثاً طبيعياً أو أنها حدث فوق الطبيعي (وأعني بالثاني أنه لا يوجد تفسير كامل من داخل العلم وحده). ولكن بأي مبرر نستطيع إعلانه حدثاً طبيعياً إذا

كان قد حدث لمرة واحدة فقط؟ إن الحدث الطبيعي هو الذي يمكن أن يحدث حسب قوانين الطبيعة باحتمال أكبر من الصفر. وهي طريقة حذرة للقول أنه إذا أمكن لكون أن يقفز للوجود من لا شيء بفضل قوانين الفيزياء فيمكنه أن يفعل ذلك ثانية وثالثة... وهكذا. وكما أوضح الفيلسوف الكندي جون ليزلي John Leslie فسيكون من المستغرب جداً أن تحمل العملية الفيزيائية التي وقفت وراء حادثة خلق الكون العنوان «**عملت هذه العملية لمرة واحدة فقط**»[١٩]. وبعبارات أخرى، فمهما كانت النظرية الفيزيائية التي قد يقدّمها المرء لوصف نشأة الكون فإن النظرية ذاتها تصف نشأة أكوان عديدة أخرى – حقاً نشأة عدد لا محدود من الأكوان. وبالمصادفة ينشأ مثل هذه النظرية من سيناريو التضخم الكوني.

التضخم الأبدي

إن إحدى نقاط الضعف في نظرية الكون المتضخم الأصلية لغوث هي الحاجة لافتراض أن حقل التضخم نشأ بالضرورة من حالة مثارة غير مستقرة – الحالة التي سببت تمدداً أسّياً. لقد ألمحت الحسابات إلى أنه لو كان الانفجار الكبير الذي سبق التضخم بأجزاء من الثانية حاراً بما يكفي، فقد يبرد حقل التضخم آلياً إلى الحالة المطلوبة. لكن العديد من المنظرين لم يقتنعوا بذلك أو ظنوا أن الأمر ملفق. لقد وجد عالما الكون الروسيان أندريا ليندي Andrei Linde الذي يعمل الآن في ستانفورد وألكس فيلنكين Alex Vilenkin الذي يعمل الآن في جامعة تافتس، طريقة أفضل ل «بدء» التضخم تتجنب التطرّق إلى شروط أولية خاصة. إن الفكرة الرئيسة هي أنه ما إن يبدأ التضخم حتى يصبح من الصعب عموماً وقف حدوثه في كل مكان. ويعود السبب في هذا إلى التذبذبات الكمومية نفسها التي ناقشتها مسبقاً بالعلاقة مع البنية الضخمة للكون. إن حقل التضخم الذي يسبب التضخم يخضع لعلاقة عدم التأكد لهايزنبرغ، ولذا فإن قوته ستتذبذب آنياً وعشوائياً من مكان لآخر ومن زمان

لآخر. وإذا كان الحقل في حالة مثارة وغير مستقرة فإنه يميل إلى التخافت ووقف التضخم - وهذا هو الاقتراح الأصلي لغوث. ولكن في البقع النادرة حيث يعاني الحقل من تذبذبات مقوية أكبر من معدل التخافت، فإن التضخم يزداد عادة (يزداد معدل التضخم مع زيادة قوة حقل التضخم). وعلى الرغم من أن هذه المناطق المعاكسة للحالة الطبيعية موزعة بشكل متباعد (معظم التذبذبات صغيرة جداً للتغلب على التخافت) فإنها تولد الكثير من المكان. تذكر أن العلامة المميزة للتضخم هي تضاعف حجم المكان في فترات زمنية محددة متتالية. ولذا فبحسب الحجم الفيزيائي تسيطر مناطق التضخم النادرة بشكل كامل. ولذا سيتألف الكون في معظمه من مكان متضخم، خلق من مناطق نادرة بتذبذبات **مقوية**، تفصل بينها مناطق توقفت عن التضخم وتحولت إلى أكوان تتمدد بالشكل التقليدي - أي أنها تتمدد بمعدل متناقص.

وبما أنه لا يمكن إيقاف التذبذبات الكمومية فستكون هناك دوماً مناطق في الفضاء في مكان ما، تستمر في التضخم وستمثل هذه المناطق الحجم الفيزيائي الأعظم للفضاء. ولذا يمكن للنظام أن يستمر في توليد أكوان جيبية بصورة لا نهائية. وسيرث كل كون جيبي نعومة المنطقة المتضخمة التي تشكل منها طبعت فوقها بعض التذبذبات الكمومية الصغيرة التي ستخلق بنية ذات مقياسٍ ضخمٍ. (تكون التذبذبات ضمن كون جيبي عادة أصغر بكثير من التذبذبات بين كون جيبي وآخر) [٢٠]. وهناك سؤال لا زال بدون حل، وهو فيما إذا كان النظام المتضخم يحتاج إلى بداية. وكما في نظرية غوث الأصلية، يمكن أن يكون المنشأ الأولي على شكل انفجار كبير محدد بمنفردة. ولكن يمكن أيضاً تصور عدم وجود بداية: أن يكون الكون المتضخم المولّد لأكوان جيبية موجوداً دوماً[٢١]. ويفضل لند الذي يشير إلى نموذجه على أنه تضخم عشوائي أبدي - عشوائي بسبب التذبذبات العشوائية، وأبدي لأن التضخم ليس له بداية أو نهاية - الاقتراح الثاني. «إن العملية بأكملها» كما

كتب «يمكن اعتبارها كتفاعل متسلسل لا متناه من خلق وإعادة خلق ذاتي لا نهاية لهما وربما لم تكن لهما بداية »[٢٢].

الكون المتعدد

يغيّر التضخم الأبدي بشكل كبير طبيعة علم الكون. وعلى الرغم من أنه يفسر الأشياء ذاتها كما تفعل النسخ الأخرى من نظرية التضخم، إلا أنه يؤسس أساساً فكرياً مختلفاً تماماً. فما كنا ندعوه حتى الآن ب «الكون» هو في هذه النظرية مجرد جزء بسيط جداً من «فقاعة» واحدة أو من كون جيبي ضمن مجموعة لا متناهية من الأكوان – **كون متعدد** – موجود بحد ذاته ضمن فضاء متضخم لا نهاية له. ويشير ليونارد ساسكند Leonar Susskind، وهو عالم في الفيزياء النظرية من جامعة ستانفورد، إلى الكون المتعدد بصيغة شعرية على أنه «**كون على شكل حمام من الفقاعات**».[٢٣] لذا يقدم التضخم الأبدي آلية لا تستنفد لتوليد الأكوان حيث يشكل كوننا – أو فقاعتنا – ناتجاً واحداً منها فقط. وسيولد كل كون جيبي من انفجار حراري ينطلق في تلك الفقاعة عندما يتوقف التضخم وسيتابع هذا الكون ليتمتع بدورة حياة من التطور وربما سيعاني في النهاية من الموت. لكن **نظام حمام الفقاعات ككل خالد لا يموت.**

أين هي الأكوان الأخرى؟ الجواب القصير هو أنها **بعيدة جداً.** وتتنبأ نظرية التضخم بأن حجم فقاعة نموذجية أكبر بمقدار هائل من حجم الكون الملاحظ. وأعني بمقدار هائل أنها أكبر بشكل أسّي. ومن المحتمل أن كوننا الملاحظ موجود في عمق منطقة بقطر $١٠^{١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠}$ كم! قارن هذا مع حجم الكون الملاحظ وهو مجرد $١٠^{٢٣}$ كم.[٢٤] وحتى لو أمكن بطريقة سحرية نقلنا إلى حافة فقاعتنا فلن نلتقي بالكون المجاور لنا مباشرة. وبدلاً من ذلك ستكون هناك منطقة يستمر فيها تضخم الفضاء بحيث يتضاعف في الحجم كل $١٠^{٣٤}$ ثانية أو أسرع من ذلك. ولذا على الرغم من أن أكواناً جيبية ككوننا تتمدد إلا أنها لن تتقاطع أبداً لأنها تتحرك بعيداً عن بعضها بعضاً ولأن الفجوات بينها

تتضخم بسرعة أكبر من توسع حدودها. ولذا من المستحيل فيزيائياً حتى للضوء أن يعبر الهوة المتوسعة بينها.

يمثل التضخم الأبدي تحولاً كبيراً ليس في علم الكون فقط ولكن في أسسه الفلسفية أيضاً. لقد أصبح الكون فجأة كبيراً جداً جداً. ومنذ خمسة قرون فقط تصور العديد من الناس كوناً يتمحور حول الأرض بقطر لا يتعدى آلاف الكيلومترات فقط. وأظهرت ولادة علم الفلك أن النجوم تقع على بعد عدد من السنين الضوئية عن الأرض وفي القرن العشرين أصبح من الواضح أن مجرات أخرى تقع على بعد ملايين وربما بلايين السنين الضوئية. لقد أخذ هذا الاتساع الهائل للمقياس الآن قفزة أخرى.

وكما في العديد من حالات التقدم العلمي الأخرى فإن فكرة الكون المتعدد ليست جديدة. لقد اقترح الفيلسوف والرياضي والفيزيائي غوتفريد ليبنز Gottfried Leinbniz في القرن السابع عشر أن عالمنا هو مجرد عضو (الأفضل حقاً) في مجموعة من العوالم ولم يعن بذلك مجموعة من الكواكب فقط، وإنما أكواناً بكاملها لها زمانها ومكانها الخاص بها ولكل منها خصائصه المميزة و ترتيباته للمادة. وفي القرن الثامن عشر لعب الفيلسوف ديفيد هيوم David Hume بفكرة أن كوننا ربما كان نتاج عملية طويلة من التجربة والخطأ قام بها خالق غير كفء:

لو تفحصنا سفينة ما، كم ستكون الفكرة التي نشكلها رائعة عن عبقرية ذلك النجار الذي صنع مثل هذه الآلة المعقدة النافعة الجميلة؟ لكن كم هي الدهشة التي سنشعر بها، عندما نعلم أنه مجرد ميكانيكي غبي قام بتقليد آخرين، ونسخ فناً تطوّر تدريجياً خلال عدة عصور، وبعد العديد من التجارب والأخطاء والتصحيحات والتأملات والمجادلات؟ ربما جرّب صنع العديد من العوالم منذ الأبد، قبل أن ينشأ هذا النظام: ضاع كثير من الجهد، وأجري عدد من التجارب الفاشلة: لقد حصل تطور بطيء ولكنه مستمر خلال العصور السحيقة في فن صنع العوالم [٢٥].

إن الزيادة الهائلة في الأبعاد الكونية الممثلة بالأكوان المتعددة هي مجرد ناحية واحدة من نواحي التحول الفلسفي. ومنذ كوبرنيكوس اقترح العلماء أنه لا شيء يميّز موقعنا في الكون. وكما شرحت في الفصل الثاني فغالباً ما يشار إلى هذه الفكرة **بمبدأ الاعتيادية:** فالأرض كوكب نموذجي يدور حول نجم نموذجي ضمن مجرة نموذجية. وبتطبيقه على توزع المادة في الكون، يدعى افتراض الاعتيادية **بالمبدأ الكوني** والذي يعني أنه في حال عدم وجود إثبات على العكس، علينا أن نفترض أن الكون هو نفسه في كل مكان (بالمقياس الضخم). ويدعم المبدأ الكوني بحقيقة أن الكون متجانس إلى أبعد مدى تصل إليه أجهزة قياسنا. لكن نظرية التضخم الأبدي تعارض مبدأ الاعتيادية بتقديمها لكوننا على أنه موجود ضمن فقاعة محاطة بشيء مختلف جداً (منطقة متضخمة). من الصحيح أنه قد يكون هناك عدد لا يحصى من الأكوان الجيبية الأخرى وراء كوننا ولكن كوننا ليس فقاعة عادية – إنه كما سنرى في الفصول اللاحقة بعيد عن هذا جداً، وهناك كل سبب للافتراض بأن كوننا الجيبي مميز حقاً.

النقاط الرئيسة :

- بدا الكون كما نعرفه منذ ١٣,٧ بليون سنة بانفجار كبير حار. ولا زال الكون إلى الآن يتمدد ولكن بمعدل أقل بكثير، وهو يسبح ضمن أشعة حرارية – أمواج مكروية كونية خلفية (CMB) هي الوهج الناتج عن الانفجار الكبير. وتقدم ال CMB لقطة فوتوغرافية عن الكون بعد ٣٨٠٠٠٠ سنة من الانفجار الكبير.
- الكون متجانس على مقياس كبير جداً، ولكن على مستوى تجمع من المجرات أو أقل، فإن المادة المرئية متجمعة مع بعضها بعضاً. وتنعكس هذه البنية في الCMB الذي هو بكليته ناعم لكنه يحتوي على «تموجات» بمقياس معين.

- تفسر البنية الأساسية للكون بشكل جيد بنظرية تدعى التضخم تقترح بأن الكون خلال الجزء الأول من الثانية من وجوده قفز في الحجم بعامل ضخم جداً بسبب نبضة هائلة من مضاد الثقالة.
- عندما توقف التضخم كان الفضاء خالياً. وتحولت طاقة التمدد إلى حرارة أو طاقة تسببت في خلق المادة.
- طبعت التذبذبات الكمومية أثناء التضخم على الكون بنيته الضخمة
- ربما كان الانفجار الكبير المنشأ الأولي للكون وربما لم يكن كذلك. إذا كان هو المنشأ الأصلي للكون فإن الزمان والمكان لم يكونا موجودين قبله. لقد حاول علماء الكون شرح أصل الكون علمياً من لا شيء (لا مكان ولا زمان ولا مادة) بالرجوع إلى النظرية الكمومية. إن موضوع الكونية الكمومية الناتجة عن ذلك مثيرة لكنها ليست دقيقة.
- إذا لم يكن الانفجار الكبير هو المنشأ الأولي للكون يبرز السؤال عما جاء قبله. وفي نظرية شائعة الآن تدعى التضخم الأبدي فإن كوننا مجرد«فقاعة» واحدة من فضاء متمدد ضمن فقاعات كثيرة حيث تحدث انفجارات كبيرة خلال الزمان في «البنية الفائقة» الأوسع، ويتضخم معظم الفضاء بمعدل هائل وتظهر «الفقاعات» أو الأكوان الجيبية منه بشكل تلقائي نتيجة عمليات كمومية.
- التضخم الأبدي عبارة عن آلية لتوليد عدد أومجموعة من الأكوان تعرف على أنها «الكون المتعدد». وقد تختلف الأكوان الفردية ضمن الكون المتعدد جداً عن بعضها بعضاً. وربما يكون جزء بسيط جداً منها فقط ملائماً للحياة.



الفصل الرابع

ما المادة التي صنع منها الكون
وكيف تتماسك كلها مع بعضها بعضاً

النظرية الأولى (الموثوقة) لكل شيء

تخيل أنك تلعب دور مصمم ذكي يصمّم كوناً ملائماً للحياة. إن الكون الحالي يعمل بشكل جيد، ولكن كم يمكنك أن تغير فيه دون أن تفسد الأشياء؟ من الممكن أن تستغني عن بعض أنواع المجرات أو أن تتخلص من ثقوب سوداء ضخمة. وقد تكون بعض النجوم الصغيرة والكواكب الكبيرة غير ضرورية. وعلى المستوى الذري قد يمكنك التخلص من بعض العناصر، ولكن معظمها ضروري في موقع ما من قصة الحياة[1]. وعلى مستوى أكثر اساسية من الحكمة أن تترك الأشياء على حالها تماماً. فالتخلص من الإلكترونات سيكون كارثة لأن الكيمياء ستكون عند ذلك مستحيلة. وإزالة النيوترونات سوف ينهي أي عنصر عدا الهيدروجين. إن مستودع الجسيمات الأساسية ليس المكان الأفضل للعبث فيه. وحتى اللعب بخصائص هذه الجسيمات سيكون خطيراً.

وإذا كان من الضروري الحفاظ على الأشياء كلها كما هي عليه تقريباً يبرز السؤال لماذا يتألف الكون من الأشياء التي تألف منها؟. لماذا توجد

الكترونات وبروتونات ونيوترونات وكل المكوّنات الذرية الأخرى؟ لماذا تمتلك هذه المكونات الخصائص التي تمتلكها؟ لماذا تمتلك الجسيمات كلها كتلاً وشحنات كهربائية معينة وليس غيرها؟ لم يفكر أحد منذ خمسين عاماً بطرح مثل هذه الأسئلة. ولكن هناك شعور بين الفيزيائيين اليوم أن علينا أن نتمكن من الإجابة عليها: إن قائمة الجسيمات الأساسية والخصائص المرتبطة بها ليست اعتباطية، ولكن يجب تفسيرها بحسب نظرية أعمق توحّد كل المكونات المتفرقة. لقد دعيت المحاولات لفعل ذلك أحياناً مع مبالغة لابأس بها **بنظريات كل شيء**.

قدّم الفيلسوفان اليونانيان ليوسيبس وديموقرطيس من القرن الخامس قبل الميلاد تفسيرات كاملة للعالم الفيزيائي. لقد عاشا قبل ممارسة أي شيء يشبه ما ندعوه اليوم بالعلم ولكن الفلاسفة الأوائل كانوا ملاحظين جيدين وبارعين في فن التفكير. وقد طرحوا مثلنا الأسئلة الكبرى، مثل كيف بني الكون، ومن أين أتى، ومن أي مادة صنع. لقد وصلوا إلى مستويات جديدة من المنطق والرياضيات والفيزياء الكونية، وتوصلوا إلى الاعتقاد بأنه يمكن فهم الكون بالتطبيق الحذر والمنظم للتعليل المنطقي.

تعلقت مشكلة عويصة فكر فيها العديد من الفلاسفة اليونان كثيراً بطبيعة التحوّل. كيف تحولت بذرة إلى شجرة؟ كيف يتحول الماء إلى بخار؟ وبصورة عامة كيف يصبح شيء شيئاً آخر؟ كانت الصعوبة كما رآها اليونان القدماء هي أن للأشياء المادية هوية (أي ما نستطيع تسميتها به). ولذا إذا كان شيء ما A كيف يمكن له أن **يصبح** B دون أن يكون B من البداية؟ كيف يمكن لشيء أن يصبح ما ليس هو عليه؟ لقد استنتج بعض الفلاسفة من هذه المعضلة المحيّرة أن كل تحول وهمي لكن آخرين ذهبوا إلى النقيض من ذلك مدّعين أنه لا شيء يحافظ على هوية ثابتة وأن كل شيء إنما هو في حالة تحول.

وجد ليوسيبوس وديموقرطيس طريقة ذكية للخروج من هذا المخاض الفلسفي. افترض كما حاججا أن الكون مؤلف من لا شيء سوى جسيمات

ميكروية لا يمكن تحطيمها تتحرك في فراغ. إن الجسيمات لا تتحول: فهي مكونات أولية لايمكن تفكيكها وتحافظ على هوية محددة للأبد. وينطبق هذا على الفراغ أيضاً: فهو غير قابل للتحول. لكن **حركة** الجسيمات ضمن الفراغ هو الذي يعطي مظهر التحول. وفي هذاالمخطط تتألف المادة كلها من ترتيبات مختلفة من الجسيمات حيث يتمثل التحول كله في مجرد إعادة ترتيبها. لقد أعطى الفيلسوفان اسم ذرة atomos لهذه الجسيمات الأولية (مؤلفة من «a ليس» و«tomos» «جزء») والتي اشتققنا منها الكلمة العلمية ذرة atom.

كان الهدف من النظرية الذرية للمادة تقديم وصف كامل وموحّد للكون المادي. إن كون الذرات غير قابلة للتحطيم أمر ضروري لأن النظرية تعتمد على أن لها هوية ثابتة. ولو أمكن تحطيم الذرات فمن الممكن أن تتحول وسيعود الفلاسفة إلى النقطة التي بدؤوا منها محاولين تعليل لماذا يمكن لشيء أن يتحول إلى شيء آخر. لقد كانت فكرة المعتقدين بنظرية الذرة هي أنها تأتي بأشكال وأحجام مختلفة لكنها متماثلة ضمن صنف واحد. ولذا يمكن إكمال النظرية بمجرد تجميع مجموعة من الأنواع المختلفة من الذرات محددين أشكالها وأحجامها المختلفة ومحددين أيضاً كيف يلتصق بعضها ببعض. ويمكن عندئذ من حيث المبدأ وصف كل شيء وكل عملية فيزيائية في العالم بحسب مكوناته الذرية.

الذرات اليوم

تفاوت حظ النظرية الذرية من الرضا خلال القرون. كانت أفضليتها العظمى في بساطتها الواضحة وقدرتها القوية على التفسير. لكن مشكلتها الأساسية كمنت في أن وجودها يجب أن يقبل بالاعتقاد. ولأنها كما صيغت في النظرية صغيرة جداً لترى بالعين فقد كان البرهان الملاحظ غير متوفر تماماً. واستمر هذا الوضع حتى العصور الحديثة. وبالفعل استمر العلماء والفلاسفة المشهورون بمعارضة النظرية الذرية في المادة حتى العقد الأول من القرن العشرين.

أما اليوم فوجود الذرات ليس موضع شك. ويمكنك أن ترى صوراً لها في الكتب العلمية. وتشبه الذرات التي نعرفها اليوم من نواح عدة تلك التي فكر بها ليوسيبوس وديموقرطيس. فهي فعلاً تأتي بأنواع مختلفة (مئة أو حوالي ذلك) لكنها من نواح أخرى متطابقة (كثيراً أو قليلاً). إن لها أشكالاً وأحجاماً مختلفة على الرغم من أنها كلها كروية تقريباً. وربما تلتصق بذرات أخرى لتشكل جزيئات أو بلورات. ويمكن إرجاع التغيرات كالتي تحدث في التفاعلات الكيميائية إلى إعادة ترتيب الذرات. لكن الاختلاف بين الذرات التي نعرفها اليوم عن سابقاتها اليونانية هو في بنيتها الداخلية. كانت ذرات الفلاسفة غير قابلة للتحطيم لكن الذرات التي نعرفها اليوم أجسام مركبة من أجزاء داخلية متحركة. إن بعض العمليات الفيزيائية مثل التغير البطيء في تركيب الشمس مع تحول الهيدروجين إلى الهيليوم ناتج عن إعادة ترتب الأجزاء الداخلية في الذرات، وليس عن إعادة ترتب الذرات الكاملة. لقد أخذ هذا التعقيد بريق النظرية الذرية كمرشح لنظرية كاملة للطبيعة عندما أصبح وجود الذرات مؤكداً تماماً.

كان هناك أمل لفترة من الزمن أن تنقذ الفكرة الأساسية لليوسيبوس وديموقريطيس بتحديد المكونات النهائية للمادة بمكوّنات الذرة بدلاً من الذرة نفسها. ومن البداية لم يبد هذا كتفسير. فالذرة تحتوي على نواة محددة تتألف من كرة من النيوترونات والبروتونات التي تمتلك معظم الكتلة. تحاط النواة بسحابة ممتدة من الإلكترونات الأخف. ويحافظ على الذرات بهذا الشكل بواسطة القوى الكهربائية الساكنة: فالبروتونات مشحونة إيجاباً والإلكترونات مشحونة سلباً مما ينتج قوة جاذبة تربط الإلكترونات بالنواة. ولذا هل من الممكن أن تكون الجسيمات تحت الذرية – الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات – أجساماً لا يمكن تحطيمها تبنى منها المادة كلها؟

مجموعة من الجسيمات تحت الذرية

لسوء الحظ، فقد تلاشى هذا الأمل سريعاً. فمع أواخر الثلاثينات ظهر عدد إضافي من الجسيمات لم يكن محصوراً بالذرة. فهناك جسيم مماثل من كل النواحي للإلكترون عدا أنه يحمل شحنة موجبة بدل شحنة الإلكترون السالبة. لقد دعي **بالبوزيترون** positron [٢]. وهناك جسيم آخر يشبه الإلكترون كثيراً ولكنه أثقل ب ٢٠٧ مرة. وأطلق الفيزيائيون عليه اسم الميون muon. والأكثر من ذلك هو أن الميونات تأتي بأشكال موجبة وأخرى سالبة مناظرة لوضع الإلكترون والبوزيترون. وهناك جسيم شبحي يدعى النيوترينو neutrino بدون شحنة كهربائية وبقوة اختراق عالية ويتحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء. لقد أفصح أصلاً عن وجوده فقط عن طريق الطاقة التي يحملها في عمليات التخافت الإشعاعي. لم تكتشف النيوترينوات بشكل مؤكد حتى الخمسينات. وبذلك الوقت أصبح الوضع أكثر تعقيداً بسبب ظهور أشكال مختلفة من الجسيمات تحت الذرية والعديد منها يوجد في الأشعة الكونية (جسيمات بسرعة عالية تضرب الأرض من الفضاء، والكلمة شعاع هي مفارقة تاريخية لكنها لا تزال مستعملة). فعلى سبيل المثال هناك البيون pion الذي يأتي أيضاً بأنواع موجبة وسالبة وهو أثقل من الإلكترون ب ٢٧٣ مرة. وهناك بيون آخر حيادي هذه المرة وأخف بمقدار ضئيل. وهناك عائلة كاملة من الجسيمات الأثقل من البروتونات والنيوترونات.

إذن لماذا كان من الصعب الحصول على هذه الجسيمات الأخرى؟ يقدم البوزيترون مثالاً على ذلك. وبما أنه صورة مناظرة للإلكترون فإنه سيختفي إذا صادف الكتروناً حيث يفني الإلكترون والبوزيترون أحدهما الآخر ويختفيا مصدرين طاقة – كتلتيهما على شكل فوتونات أشعة غاما. وإذا كان البوزيترون منعزلاً فسيكون مستقراً تماماً، ولكن بما أن الأرض مصنوعة من مادة مليئة بالإلكترونات فإن البوزيترونات الأرضية لا تبقى طويلاً. أما الميونات فبقيت غير مكتشفة لسبب آخر. فمعظمها يتخافت بعد بضع

ميكروات من الثانية حيث يتحول كل ميون بشحنة سالبة إلى إلكترون وكل ميون بشحنة موجبة إلى بوزيترون. ولذا لا تتواجد لفترة كافية لتؤثر بشكل ملحوظ على العالم اليومي. ولم تلاحظ النيوترينوات في مدة أبكر لأنها تتفاعل بشكل ضعيف مع المادة العادية بحيث أنها نادراً ما تترك أي أثر على وجودها. وعلى سبيل المثال، تصدر الشمس عدداً هائلاً من النيوترينوات ولكن معظمها يمر خلال المادة العادية. وفي كل ثانية يخترق جسمك بلايين النيوترينوات بدون أن يحدث ذلك أي أثر. وبالفعل فمعظم النيوترينوات الشمسية التي تصل إلينا تمر خلال الأرض بكاملها ونادراً ما تحدث أي تأثير ثم تطير إلى الفضاء من الطرف الآخر. إن هذه الجسيمات الغريبة الهاربة غير نادرة: فهي ربما كانت في الحقيقة أكثر الجسيمات تواجداً في الكون حيث يزيد عددها على عدد الإلكترونات والبروتونات بمعدل بليون إلى واحد. ولكنها خفية جداً بحيث أنها ربما لم تكن لتكتشف على الإطلاق دون استخدام أجهزة خاصة.

وبحلول الستينات كان عدد الجسيمات تحت الذرية التي اكتشفت كبيراً جداً بحيث لم يعد العلماء يمتلكون الأسماء لها وأصبحوا يسمونها بالحروف والأرقام بدلاً من ذلك. وبدأ عالم الجسيمات تحت الذرية يشبه تجمعاً ضخماً من أجسام غريبة رائعة وجدت بدون سبب واضح. ويتخافت معظم هذه الجسيمات خلال أجزاء ضئيلة من الثانية، ولذا فلا سبيل لها لتكون لبنات في بناء المادة المعروفة[٤]. ومع ذلك فهي بدون شك نوع من المادة وأصبح الفيزيائيون متشوقين لوضع نوع من النظام لهذه القائمة الواسعة من الجسيمات.

بعض النماذج تظهر

على الرغم من عدد الجسيمات تحت الذرية الكبير وتنوعها المدهش إلا أن بعض الترتيبات أصبحت واضحة منذ وقت أبكر. وعلى سبيل المثال فللجسيمات كلها الشحنة الكهربائية ذاتها (موجبة أو سالبة) أو أنها بدون شحنة. فالنيوترون والنيوترينو محايدان كهربائياً ومن هنا أتى اسماهما. ولكل

نوع من الجسيمات جسيم مضاد له الكتلة نفسها ولكن الخواص الأخرى كلها مثل الشحنة الكهربائية مضادة. كان البوزيترون أول ما اكتشف من الجسيمات المضادة – فهو مضاد للإلكترون لكنه لا زال يدعى البوزيترون لأسباب تاريخية. ثم جاء بعد ذلك مضاد النيوترينو ثم مضاد البروتون وبعده مضاد النيوترون ثم البقية الأخرى. ولذا هناك **تناظر عميق** هنا بين المادة ومضاد المادة. إن الخاصة النظامية الأخرى للجسيمات تحت الذرية هي **اللف** spin. فالإلكترون على سبيل المثال يلف حول محوره مثل كوكب صغير ولكن دائماً بالسرعة نفسها. ولأسباب تاريخية أعطيت سرعة اللف الرقم ١/٢. وللبروتونات والنيوترونات والنيوترينوات والميونات أيضاً سرعة لف تعادل ١/٢. وهناك جسيمات أخرى لها سرعات لف ١ و ٣/٢ و ٢. إن قيمة اللف هي دائماً من مضاعفات ال ١/٢ ولذا أصبحت لدينا قاعدة أخرى واضحة. وهناك قاعدة هامة أخرى وهي أن جسيمات المادة كلها تنتمي إلى واحد من صنفين مميزين: جسيمات ذرية ونواتج تفاعلاتها (مثل البروتونات والنيوترونات والبيونات) التي تميل لأن تكون ذات كتلة أكبر وتدعى **بالثقيلة** hadrons والبقية (الإلكترونات والنيوترينوات والميونات...) والتي هي أخف وتدعى **الخفيفة** leptons. وقد اشتقت الكلمتان من كلمتي «ثقيل» و«خفيف» اللاتينيتين على التوالي.

وعلى الرغم من أن بعض الجسيمات الجديدة وجدت في الأشعة الكونية إلا أنها أصبحت تصنّع في المختبرات بشكل متزايد باستخدام مسرّعات الجسيمات التي تقذف بروتونات والكترونات بطاقة عالية على أهداف ثابتة أو على مضاداتها من الجسيمات التي تأتي من الاتجاه المعاكس. تتألف معظم المسرعات من أنابيب مفرغة على شكل حلقة كالمسرّع في بروكهافن الذي ذكرته في الفصل السابق (على الرغم من أن المسرع الشهير في جامعة ستانفورد في كاليفورنيا عبارة عن أنبوب مستقيم). ويوجد أضخم مسرّع حتى الآن لدى مختبر سيرن CERN بالقرب من جنيف حيث يبلغ طول محيطه

٢٧كم. لقد صمم أصلاً لتسريع الإلكترونات والبوزيترونات في أشعة دوارة متعاكسة تصل سرعتها إلى ٩٩,٩٩٩ % من سرعة الضوء، ثم توجيههما ليصطدما وجهاً لوجه. وأعيد تصميمه الآن لتسريع البروتونات ومضاداتها وأعيدت تسميته إلى صادم الهادرون الكبير. وعندما سيعمل عام ٢٠٠٧ فسوف يخلق تصادمات بطاقات تعادل حالة الكون بعد مضي واحد على مئة تريليون ثانية بعد الانفجار الكبيرعندما كانت درجة الحرارة قريبة من بليون بليون درجة. إن الهدف الرئيس لإجراء هذه التصادمات عند طاقات عالية ليس لدراسة علم الكون فقط ولكن لتفحص البنية الأعمق للمادة. وهي تقانة تعود إلى عام ١٩٣٢ عندما استخدم جون كوككروفت John Cockeroft وإيرنست والتون Ernest Walton لأول مرة جهازاً كهربائياً بجهد مرتفع في جامعة كامبردج لشطر نواة الذرة.

الكواركات كلبنات بناء المادة

تتألف القائمة الممتدة دوماً من الجسيمات المكتشفة حديثاً في معظمها من الجسيمات الثقيلة هادرونز (الجسيمات الثقيلة المتعلقة بنواة الذرة). لقد بدأ الفيزيائيون يعتقدون بأنها قد لا تكون أوّلية على الإطلاق وأنها مركّبة من جسيمات أصغر. لقد اقترح موري جيل مان Murray Gell-Mann وجورج زفايغ George Zweig أن كلاً من البروتون والنيوترون يحتوي على ثلاثة من هذه الجسيمات الأصغرالتي دعاها جيل مان بالكواركات quarks بحسب مصطلح استخدم في رواية لجيمس جويس. ولجعل المخطط يعمل لابد أن يحمل الكوارك شحنة كهربائية تعادل ٣/١ و٣/٢ الوحدة الأساسية. لقد أعطي هذان النوعان المختلفان من الكواركات أو النكهتان كما يفضل الفيزيائيون تسميتهما الاسم الاعتباطي **فوق** (الكوارك ٣/٢) وتحت (الكوارك ٣/١). ويتحد اثنان من النوع فوق مع واحد من النوع تحت لتكوين بروتون كما يتحد

اثنان من تحت مع واحد من فوق ليكوّنا النيوترون. وبالطبع هناك مضاد كوارك لكل نكهة من الكواركات حيث يمكن لهذه أن تتحد مع الكواركات في أزواج غير مستقرة: فالبيون على سبيل المثال عبارة عن اتحاد فوق مع مضاد- تحت (أو العكس حسب ما إذا كان بيوناً موجباً أم سالباً). هناك الآن إذن **ثلاثة** مستويات من البنى الذرية: ذرات مصنوعة من النوى والإلكترونات، ونوى مصنوعة من البروتونات والنيوترونات، وبروتونات ونيوترونات مصنوعة من الكواركات. أما الليبتونات (الإلكترونات والنيوترينوات...) فهي خارج هذا النظام: إنها تعامل على أنها مكوّنات أولية للمادة مثل الكواركات°.

بسّط نظام الكواركات الأشياء كثيراً. لقد عنى أن المادة العادية مبنية من أربعة مكونات أولية: كواركات فوق وتحت والإلكترونات والنيوترينوات. (قد يفكر القارئ أنه من الغريب أن أدعو النيوترينوات عادية لأنها غير شائعة في الحياة اليومية ولكن هذا فقط لأننا لا نشعر بها مباشرة، فهي كما شرحت مسبقاً أكثر شيوعاً من الجسيمات الأخرى مجتمعة، ولا يمكنك أن تحصل على شيء أكثر شيوعاً من ذلك). تتألف هذه العصابة الأربعة حقاً من زوجين لأن خصائص الكواركات تختلف بشكل كبير عن خصائص الإلكترونات والنيوترينوات.

ظاهرياً سيعمل الكون كما يعمل الآن لو كان هذا الرباعي عناصره الوحيدة. ولكن لسبب ما لم تقم الطبيعة بمضاعفة هذا النظام فقط بل ضاعفته بثلاثة أمثال. إن الأمر يبدو كما لو أن أحداً قال عند لحظة الخلق: «إذا كانت عائلة واحدة من الجسيمات جيدة فإن اثنتين منها أفضل – وثلاثة أفضل بكثير!» ما حصل هو خلق ثلاثة. تمتلك العائلة التالية نكهتين إضافيتين من الكواركات – دعيتا غريبة ورائعة – ونوعين آخرين من الليبتونات – الميون ونوع آخر من النيوترينو. إن هذه الجسيمات أثقل من

تلك في العائلة الأولى[٦] وغير مستقرة وتتفكك إلى جسيمات تنتمي إلى العائلة الأولى[٧]. وأخيراً هناك العائلة الثالثة: كوارك أعلى وكوارك أسفل وهو نوع ثقيل من شبيه الإلكترون يدعى **تاو Tau** مع نكهة أخرى من النيوترينو. وهذه الجسيمات غير مستقرة أيضاً. وللتمييز بين النكهات الثلاث من النيوترينو، فإنها تصنف بحسب الليبتون الذي تزدوج معه: إلكترون – نيوترينو وميون – نيوترينو وتاو – نيوترينو. ويلخص الجدول (١) هذا النظام. وحسب ما نعلم حتى الآن فإن هذا هو كل القصة. ويبدو أن **هذه العائلات الثلاث للمكونات الأربعة تفي بالغرض**. ويمكن دمج الكواركات بالخلط والتنسيق بين العائلات الثلاث مما يعطي عدداً من التركيبات المحتملة التي تغطّي كل هذا العدد الكبير من الجسيمات الثقيلة (الهاردونز) ذات العمر القصير. وعلى الرغم من أن هذه القائمة من الجسيمات قد تبدو صعبة وغير قابلة للحفظ، إلا أنها تمتلك تناسقاً ونظاماً داخليين مرضيين. وعلى أية حال فهذا هو أسلوب الطبيعة وعلينا أن نقبلها. ومما لاشك فيه أن ليوسيبوس وديموقرطيس سيكونان راضيين عن ذلك.

من الخطأ أن أعطي الانطباع بأن فيزياء الجسيمات هي مجرد تمرين في التسمية حيث يصنّف هذا التجمع الكبير من الجسيمات بأسماء مختلفة. فمن الممكن صياغة كل العلاقات العائلية التي تربط الجسيمات بالتركيبات المختلفة من الكواركات ومضادات الكواركات في لغة رياضية (باستخدام ما يدعى بنظرية المجموعات). هناك تناظرات مخفيّة إضافية خلف هذه التركيبات جاعلة من الممكن كتابة صيغ تربط بين خصائص الجسيمات المختلفة، بما يشبه ربط التناظرات في الهندسة بين أضلاع مربع أو رؤوس مثلث متساوي الأضلاع. ولكن في فيزياء الجسيمات فإن

LEPTONS	Electric Charge		Electric Charge
Tau	−1	Tau-Neutrino	0
Muon	−1	Muon-Neutrino	0
Electron	−1	Electron-Neutrino	0
QUARKS			
Bottom	−1/3	Top	+2/3
Strange	−1/3	Charm	+2/3
Down	−1/3	Up	+2/3

Particles

الجدول ١ الجسيمات الاثناعشر التي تشكل المادة المعروفة كلها

تمتلك هذه الجسيمات كلها اللف ٢/١. ولكل منها جسيم مضاد خاص بها. ولا توجد الكواركات بشكل مستقل ولكنها توجد إما مركبة من ثلاثة، أو في زوج غير مستقر من كوارك – مضاد كوارك. وتعطى الشحنة الكهربائية هنا في وحدات شحنة البروتون. و تتفكك الجسيمات في العائلة ٢ و ٣ إلى جسيمات في العائلة ١.

هذه التناظرات ليست هندسية وإنما ذات طبيعة أكثر تجريداً. ومع ذلك فوجودها يظهر أن العالم الميكروي ليس كيس مهملات من أشياء عشوائية، ولكنه عالم متناغم تمتلك فيه مكوناته علاقات داخلية عميقة على الرغم من أنها مجردة. ويقدم هذا جواباً محتملاً لمسالة وظيفة العائلتين الإضافيتين من الكواركات و الليبتونات. قد يبدو أنه من الممكن رميهما خارجاً دون أن يؤثر

ذلك كثيراً على الكون. ولكن بما أنه من الممكن ربط الجسيمات بعضها بعضاً بواسطة تناظرات مجردة متنوعة، فمن الممكن لها أن تشكل جزءاً من تجمع قبلي أكبر لا يمكن فصله إلى أجزاء بطريقة متقطعة. والأمل هو أن تجد الجسيمات كلها في النهاية - بما في ذلك الكواركات والليبتونات الأثقل وغير المستقرة - مكاناً طبيعياً في مخطط أعمق (على سبيل المثال نظرية الأوتار الفائقة التي سأشرحها بعد قليل).

عندما اقترح جيل ماين وزفايج لأول مرة نظريتهما في الكواركات كانت مجرد طلقة في الظلام. لكن الإثباتات التجريبية على أن الكواركات حقيقة تراكمت في السبعينات والثمانينات وليس هناك شك في وجودها الآن. ومن الغريب - مع ذلك - أنه لم يكتشف أحد إلى الآن كواركاً معزولاً. إن أحد الخصائص الغريبة للقوة التي تربط الكواركات بعضها بعضاً هي أنها تزداد مع الفصل. ولذا ففصل كوارك من بروتون، على سبيل المثال مستحيل. إن الكواركات موجودة غير أنها على ما يبدو محصورة دوماً ضمن جسيمات أكبر.

ومع أن نظام الكواركات والليبتونات قد يكون ناجحاً إلا أنه لايمثّل سوى نصف القصة. وعندما جاء الذرّيون اليونان بفكرتهم عن الجسيمات الأولية كان الجزء الرئيس من نظريتهم، هو قدرة الجسيمات على أن تتحد بطرق مختلفة. ولذا لا بد من وجود نوع من القوى التي تعمل بينها. وبدون شيء يربط الجسيمات بعضها بعضاً، فإن كلاً منها سيذهب في طريقه ولن توجد المادة كما نعرفها. وتقدم دراسة القوى بين الجسيمات النصف الثاني من هذه القصة.

أربع قوى أولية تفسر كل شيء

على الرغم من التنوع الثري للأنظمة الفيزيائية التي تزيّن الكون من الذرات وحتى المجرات، يبدو أن هناك حاجة لأربع قوى رئيسة فقط كي تشرح خصائصه. ولكن ظاهرياً هناك قوى عديدة أكثر في الطبيعة تشكّل المادة وتحولّها بالمقاييس جميعها. إن القوة الأكثر وضوحاً هي الثقالة - وهي

الجذب الذي يبقي أرجلنا فوق سطح الأرض. والقوة الثانية الواضحة هي تجاذب الكهرباء الساكنة - وهي الشيء الذي يبقي البالون المفروك ملتصقاً بالسقف، أو الذي يجعل الشعر يقف عندما يمشّط. وللمغانط أيضاً خصائص تجاذبية أو تنافرية إذا أديرت في الاتجاه الآخر. ويقدم ضغط الغاز داخل بالون وصوت البخار الخارج من وعاء يغلي أمثلة أخرى معروفة على ذلك. لكن البحث الدقيق - مع ذلك - يظهرأنه يمكن إرجاع هذه القوى كلها إلى أربع قوى فقط. فالذرات على سبيل المثال يلتصق بعضها ببعض لتشكل الجزيئات، أو تقفز مبتعدة عن بعضها بعضاً نتيجة للشحنات الكهربائية التي تحتويها (وهي الشحنات نفسها التي تنتج تجاذباً كهربائياً يؤدي إلى التصاق البالونات). وفي النهاية تشتق القوى التي نصادفها يومياً مثل الرياح في أشرعة قارب أو دفع مجذاف دوار من هذه الكهرباء الذرية موزعة على عدد كبير من الذرات. وفي الواقع يعزى للثقالة والكهربائية والمغناطيسية كل الظواهر تقريباً في العالم اليومي.

في أوائل القرن العشرين اكتشفت قوتان جديدتان. لا نلاحظهما في حياتنا اليومية لأنهما محصورتان تماماً في نوى الذرات وفي التصادمات القريبة بين الجسيمات تحت الذرية. إحدى هاتين القوتين والتي تدعى القوة النووية القوية أو **القوة القوية** فقط، مسؤولة عن ربط الكواركات بعضها بعضاً لتشكل الهاردونز. وتعمل بقية من هذه القوة القوية بين الكواركات وبين النيوترونات والبروتونات وتفسر كيف تبقى مجتمعة ضمن نوى الذرات لتتغلب على التنافر الكهربائي للبروتونات. وقد تكون هذه القوة كبيرة جداً لكنها تمتلك مجالاً قصيراً جداً منخفضة بشدة إلى الصفر بعد مسافة حوالي واحد على عشرة تريليونات من السنتيمتر. وتعرف القوة النووية الأخرى ببساطة بالقوة الضعيفة. وهي مسؤولة عن نوع من النشاط الإشعاعي - وهي الظاهرة التي تحدث عندما تتخافت بعض الجسيمات النووية لتشكل جسيمات أخرى. وعلى سبيل المثال فالنيوترونات المستقلة غير مستقرة وتتخافت بعد بضعة دقائق إلى بروتون وإلكترون ومضاد النيوترينو. إن القوة الضعيفة هي

التي تسبّب هذا التحول. وتشرح القوة نفسها أيضاً لماذا تتخافت الميونات (وجسيمات عديدة أخرى). وفيما يتعلق بهاتين القوتين النوويتين فإن الهاردونز (أي الكواركات) تستجيب للقوة القوية والضعيفة ولكن الليبتونات تشعر بالقوة الضعيفة فقط.

يبدو أن القائمة السابقة تحتوي على خمس قوى – الثقالة والكهربائية والمغناطيسية والقوة القوية والقوة الضعيفة. ومع ذلك فإن اثنتان منها – الكهربائية والمغناطيسية – هما حقاً مجرد وجهين **لقوة كهرومغناطيسية** واحدة. لقد اكتشفت العلاقة بين الكهرباء والمغناطيسية في القرن التاسع عشر من خلال عمل مايكل فاراداي وهانز كريستيان أورستد وجيمس كلارك ماكسويل وآخرين. ومن السهل جداً إثبات هذه العلاقة. فالتيار الكهربائي يولّد حقلاً مغناطيسياً – وهي ظاهرة تستخدم في أجراس الأبواب وأجهزة التلفاز ومجففات الشعر والعديد من الأجهزة التي تستخدم يومياً. وبالمقابل فإن حقلاً مغناطيسياً متغيراً يولّد قوى كهربائية تجعل التيارالكهربائي يتدفق إذا كانت هناك دارة لذلك. ومرة أخرى فهذا التأثير معروف في أجهزة مثل المولدات.

في عام ١٨٥٠ استطاع ماكسويل أن يدمج العلاقات التي تصف الكهرباء بتلك التي تصف المغناطيسية آخذاً بعين الاعتبار تداخل القوتين. وربما كانت النتيجة الأهم لهذا الدمج هي اكتشاف الموجات الكهرطيسية. وبما أن تغيير الحقول المغناطيسية يخلق حقولاً كهربائية، وتغيير الحقول الكهربائية يخلق حقولاً مغناطيسية فهناك احتمال لنشوء تذبذبات لحقول مغناطيسية وكهربائية مدعومة ذاتياً يغذي كل منهما التغيرات في الحقل الآخر. لقد استخدم ماكسويل علاقاته في الحقل الكهرطيسي ليتنبأ بأن مثل هذه الحقول المتذبذبة ستنتشر عبر فراغ الفضاء الخالي على شكل أمواج. والأبعد من ذلك فقد أعطت هذه العلاقات سرعة هذه الأمواج. ومن المهم أنه عندما وضع ماكسويل الأرقام في العلاقة وجد أن سرعة هذه الأمواج تعادل سرعة الضوء. لقد كان الاستنتاج واضحاً: لا بد أن يكون الضوء نفسه شكلاً من

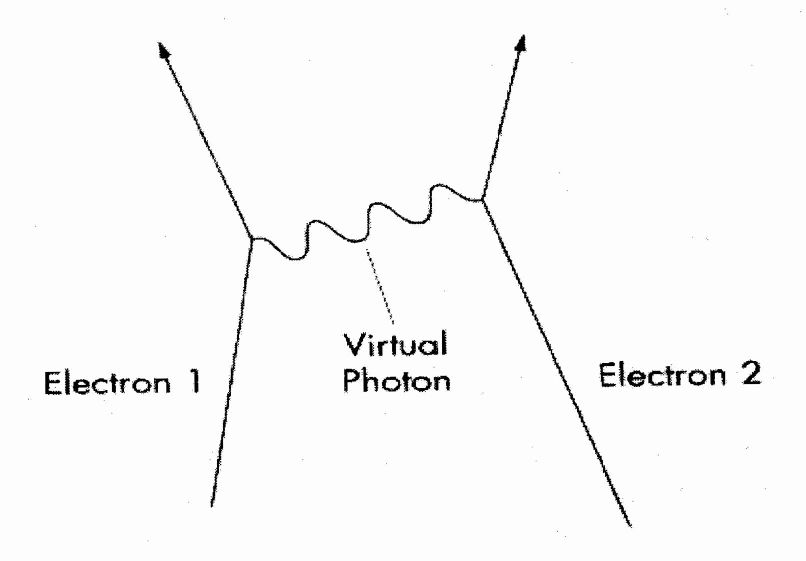
أشكال الأمواج الكهرطيسية. لقد تابع الفيزيائيون عملهم باكتشاف أمواج كهرطيسية أخرى – بشكل رئيس ظاهرة الضوء نفسها ولكن بأطوال موجات وترددات مختلفة. وتتراوح هذه بين موجات الراديو والميكرويف مروراً بالأشعة تحت الحمراء والضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية وأشعة اكس وأشعة غاما (انظر الشكل ٧)

يمكن وصف الثقالة والكهرطيسية بحسب حقليهما. فعلى سبيل المثال، يدور القمر حول الأرض لأن حقل ثقالة الأرض يتداخل مع القمر وينتج قوة جاذبة. وبالمثل، يمكن القول بأن المغناطيس يخلق حقلاً مغناطيسياً يمتد ويتفاعل مع مغناطيس آخر منتجاً قوة. ويعمل مثل هذا التوصيف بشكل جيد على مقياس كبير ولكنه يفشل بالنسبة لمقياس الذرات لأننا يجب أن نأخذ التأثيرات الكمومية بعين الاعتبار في هذا المجال.

كيف تعمل القوى على المستوى الكمومي

يتطلب ميكانيك الكم طريقة مختلفة تماماً من التفكير حول طريقة عمل القوى. وسأقدم هنا مخططاً بسيطاً بذلك. افترض أن إلكترونين يقتربان من بعضهما بعضاً ليصطدما. وبما أن الشحنات المتماثلة تتنافر فيجب أن تنحرف الإلكترونات عن بعضها بعضاً ويدعو الفيزيائيون هذه العملية بالتشتت. ويقدم الميكانيك الكمومي وصفاً مميزاً لكيفية حدوث تشتت الإلكترونات بحسب لغة الفوتونات. فالفوتون عبارة عن كم لحقل كهرطيسي فهو الوجه الذي يشبه الجسيم من الأمواج الكهرطيسية (انظر الصندوق٣). وعندما يرتطم إلكترونان يصدر أحدهما فوتوناً، ثم يقوم الآخر بامتصاصه. ويمر كل إلكترون بارتداد بسيط[٨] نتيجة لذلك مما يؤدي إلى دفعهما باتجاهين متباعدين. وتمثل هذه العملية تخطيطياً في الشكل ١٧. وتدعى الفوتونات المحصورة في تبادل خاص بين إلكترونين متوافقين (أو جسيمات أخرى) **افتراضية**، لتمييزها عن «الحقيقية» التي تأتي من مصابيح الإنارة وتحدث في عقولنا الشعور بالضوء.

تدعى الصور كتلك في الشكل ١٧ بأشكال فينمان نسبة إلى صاحبها ريتشارد فيتمان Richard Feynman. وتفيد في توجيه الحدس ولكن يجب عدم أخذها حرفياً. وعلى سبيل المثال، يجعل المخطط عملية التشتت تبدو كتغير مفاجئ في حركة كل إلكترون ولكن هذا خادع. فليس من الممكن عادة معرفة أي إلكترون يصدر الفوتون الافتراضي وأيها يمتصه أو متى. وبحسب قواعد الميكانيك الكمومي على المرء أن يأخذ بعين الاعتبار **كل** الاحتمالات في حساب التأثير الكلي لتشتيت إلكترون لإلكترون آخر. وتساهم كل عملية إصدار وامتصاص في النتيجة ولذا فليس هناك مخطط واحد يمثل «الحقيقة». وتصطدم المحاولات لتحديد مكان صدور الفوتون وزمانه بمعوقات مبدأ عدم التأكد لهايزنبرغ ولكن عندما تضمّن العمليات كلها في الحساب، يمكن استخلاص النتيجة الكلية من دمجها كلها[9]. ومع ذلك، فحتى هذه هي جزء فقط من القصة. إن المعادلات التي تصف عملية تشتيت الإلكترونات (والتي تشتق من فرع من الفيزياء يعرف بالإلكتروديناميك الكمومي) لا يمكن حلها تماماً ولذا يستخدم مخطط تقريبي مؤلف من سلسلة لا تنتهي من حسابات أكثر صعوبة تعطي كل واحدة منها تقريباً يقترب أكثر فأكثر من الجواب[10]. إن مخطط فينمان الموضح في الشكل ١٧ هو الحد الأول فقط في هذه السلسلة ويمثل أدنى مستوى من التقريب. ولحساب التقريب الأفضل التالي عليك أن تأخذ مخططاً لفينمان يتم فيه تبادل فوتونين افتراضيين. وتحتوي التصحيحات الأعلى رتبة للحسابات ثلاثة تبادلات فوتونية وأربعة وخمسة مما يحتاج إلى حسابات أعقد فأعقد. ومرة أخرى تتطلب قواعد الميكانيك الكمومي أن تساهم كل الاحتمالات – كل الأعداد الممكنة من الفوتونات – في محصلة تأثير التشتت على الرغم من أن المساهمات (لحسن الحظ) تتناقص بشدة مع كل فوتون إضافي ولذا من النادر أن يحتاج الفيزيائيون النظريون عملياً إلى أكثر من تقريب من المرتبة الثانية للحصول على تفاسير أو تنبؤات صحيحة لمعظم المسائل المهمة.



الشكل ١٧ كيف تتفاعل الجسيمات الكمومية

يصف هذا الشكل، والذي يدعى مخطط فينمان، إلكترونين يقتربان ثم يتباعدان نتيجة للقوى الكهرطيسية التي تعمل بينهما. ولوصف هذه العملية باستخدام الميكانيك الكمومي، من الضروري اعتبار الإلكترونات وكأنها تتبادل فوتوناً «افتراضياً». وعندما تؤخذ كل هذه التبادلات بعين الاعتبار (أي كل الفوتونات المحتملة) وتدمج في حساب التأثير الصافي نحصل على اتفاق رائع مع التجربة.

قمت بتفسير التشتت لإلكترون – إلكترون ولكن النظرية ذاتها (باستخدام مبدأ تبادل الفوتون الافتراضي) يمكن أن تستخدم لوصف مجموعة من الظواهر الأخرى مثل إصدار الضوء وامتصاصه وتشتته بواسطة الجسيمات والذرات المشحونة والتفاصيل الدقيقة لمستويات الطاقة الذرية وفناء الإلكترونات والبوزيترونات والصفات المغناطيسية للبيتونات. وعلى أية حال، فعند إجراء الحسابات بشكل صحيح سيجد المرء أن التطابق بين النظرية والتجربة مذهل تماماً. لقد اختبرت بعض التنبؤات في تجارب إلى درجة فائقة

من الدقة. وفي بعض الحالات، كانت هذه الدقة أفضل من جزء على تريليون. ويعطي هذا التطابق القريب جداً الفيزيائيين ثقة كبيرة بأن تفسير «**تبادل الفوتون**» في الإلكتروديناميك الكمومي صحيح.

يعزى التجاذب الكهرطيسي بين الجسيمات المشحونة في هذا الوصف الكمومي لتبادل جسيم آخر - الفوتون. ويمكن تصور الحقل الكهرطيسي لجسيم مشحون على شكل سحابة من الفوتونات الافتراضية المحيطة بالجسيم. وينطبق مخطط مشابه على القوى الأخرى. فالثقالة تعمل بتبادل ***الجاذبات gravitons***. ولم يقم أحد حتى الآن باكتشاف جاذب مباشرة لأن الثقالة قوة ضعيفة جداً ولكن يمكن استنتاج خصائصه مما نعرفه حول حقول الثقالة. وتحتاج القوة النووية الضعيفة إلى جسيمي تبادل يدعيان W وZ (في الحقيقة فإنW مشحون كهربائياً ويأتي بشكل موجب وسالب يرمز لهما ب W^+ وW^-). أما القوة النووية القوية فهي أكثر تعقيداً وتحتاج إلى ثمانية جسيمات تبادلية أو أكثر للصق النيوترونات والبروتونات بعضها بعضاً وتدعى هذه الكمومات بمجموعها بـ***الغلونز gluons***. ولإكمال المجموعة التي تجمع الكون بعضه بعضاً يمكننا أن نضيف إلى القائمة من ٦ كواركات و ٦ ليبتونات (مع جسيماتها المضادة) مجموعة مؤلفة من ١٢ جسيم تبادل مسؤولة عن القوى التي تعمل عليها. وهذا ملخص عنها في الجدول ٢.

القوة الضعيفة والكهرطيسية متحدتان

لو استخدمت الطبيعة مجموعة كبيرة من القوى فسيميل الفيزيائيون إلى تسجيلها فقط والانتهاء من ذلك. ولكن الرقم أربعة رقم غريب: قد يتوقع المرء إما قوة واحدة أو قوى كثيرة جداً. ويحفز هذا على السؤال فيما إذا كانت القوى الأربعة على الرغم من الإختلاف الكبير في خصائصها هي في الحقيقة قوة وحيدة تتجلى في أربعة أشكال مختلفة. وكما شرحت سابقاً فمن المعلوم منذ فترة طويلة أن الكهرباء والمغناطيسية متصلتان. هل من الممكن أن تكون القوى المتبقية متصلة بطريقة ما في العمق؟ إنها فكرة مثيرة ذات

تاريخ طويل. لقد حاول فاراداي عام ١٨٥٠ بدون نجاح أن يجد العلاقة بين الكهرباء والثقالة بإسقاط أوزان ثقيلة وقياس تأثيراتها الكهربائية.

BOSONS		
Unified Electroweak	**Spin = 1**	
NAME	MASS GeV/c²	ELECTRIC CHARGE
γ Photon	0	0
W^-	80.4	−1
W^+	80.4	+1
Z^0	91.187	0
Strong (Color)	**Spin = 1**	
NAME	MASS GeV/c²	ELECTRIC CHARGE
g Gluon	0	0
Gravitation	**Spin = 2**	
NAME	MASS GeV/c²	ELECTRIC CHARGE
Graviton	0	0

الجدول ٢

تحمل قوى الطبيعة الأربعة من قبل جسيمات تبادل لها لف ١ و ٢. وتوضح الغلونزات الثمانية المختلفة هنا كمدخل واحد لآنها تقوم بوظيفة مشابهة. ولم يكتشف الجاذب حتى الآن بالتجربة فوجوده وخصائصه تستنتج من النظرية الرياضية. إن الواحدات المستخدمة لكتل W وZ هي الوحدات التقليدية المعروفة (والتي تعرف بGeV/c^2). وللمقارنة فإن كتلة الفوتون في الوحدات نفسها هس ٠,٩٣٨٣. وتعطى الشحنات الكهربائية بواحدات الشحنة على البروتون.

لكن التوحيد بين القوى أتى من مصدر مختلف تماماً. فقد أصبح الفيزيائيون في الستينات مهتمين ببعض التشابهات بين الكهرطيسية والقوة النووية الضعيفة. وظاهرياً يبدو أن هاتين القوتين غير متوافقتين. فمجال القوة الضعيفة صغير جداً ومحصور ضمن الأبعاد تحت الذرية بينما يمكن للحقول

الكهرطيسية أن تمتد عبر مجرة بكاملها. كما أن القوة الكهرطيسية أيضاً أقوى بكثير من القوة النووية الضعيفة. ولكن رؤية عمل هاتين القوتين بواسطة الميكانيك الكمومي – يقرّبهما من بعضهما بعضاً. لقد علم العلماء منذ زمن طويل أن مجال قوة ما يتعلق مباشرة بكتلة الجسيم الافتراضي المتبادل: فكلما إن كبرت الكتلة صغر المجال. ن الفوتون بلا كتلة[11] ولذا فمجال القوة الكهرطيسية لا حدود له. ويوحي مجال القوة النووية الضعيفة القصير جداً بأنها تبادل جسيمات افتراضية ذات كتلة عالية جداً. وإذا أمكن اختفاء كتلة جسيمات التبادل في القوة النووية الضعيفة بطريقة ما فإن القوتين تتشابهان فعلاً في خصائصهما – تتشابهان إلى الحد الذي يمكّن على الأقل كتابة **علاقة رياضية واحدة** تدمجهما معاً.

ابتدع شيلدون غلاشو Sheldon Glashow وستيفان واينبرغ Steven Weinberg وعبد السلام Abdus Salam مثل هذه العلاقة. اقترح هؤلاء أن القوة الضعيفة تنقل بواسطة ثلاثة جسيمات ذات كتلة عالية W^+ و W^- و Z التي نوقشت مسبقاً. كانت الفكرة الرئيسة هي أنه «تحت» القوة الضعيفة والقوة الكهرطيسية هناك حقاً اتحاد بين قوى ذات مستوى واحد ولكن هذا المصدر المشترك مخفي بالكتل الكبيرة W^+ و W^- و Z. ومع ذلك فالمهم أن المخطط يعمل فقط إذا افترض المرء أن W^+ و W^- و Z هي «**حقاً**» بدون كتلة – أي ليس لها كتلة ذاتية – ولكنها بدلاً من ذلك تكتسب كتلها الفعلية (الكبيرة)عن طريق شكل جديد من التفاعل الفيزيائي يدعى **آلية هيغزHiggs**. وسأتكلم بتفصيل أكثر عن آلية هيغز لتوليد الكتلة في الفصل الثامن. ولكنني أطلب منك الآن أن تقبل أن آلية هيغز تزيح العقبة أمام إعطاء وصف موحد لهاتين القوتين مما يسمح بتقديم وصف مرض لكليهما ضمن مجموعة واحدة من المعادلات الرياضية.

ولكن ليس هذا كل القصة. فالنظرية تشرح أيضاً الفارق الكبير في شدة هاتين القوتين. وبشكل أساسي فإن القوتين كليهما قويتان «تحت»، ولكن

للحصول على القوة الفعالة المنخفضة للقوة الضعيفة تتطلب النظرية تقسيم طاقة الجسيمات المشاركة على كتلتي W و Z. وبما أن هاتين الكتلتين كبيرتان جداً فإن القوة الفعالة للقوة الضعيفة عند طاقات منخفضة تخفّض بشدة. ومع ذلك – وهنا تقدم النظرية بوضوح تنبؤاً قابلاً للاختبار– مع زيادة الطاقة يجب أن تصبح القوة الضعيفة أقوى. وإذا زيدت الطاقة بما يكفي فستظهرالقوتان – الضعيفة والكهرطيسية – كوجهين **لقوة كهروضعيفة** مختلطة. إن إحدى الطرق لزيادة الطاقة هي في صدم الجسيمات بعضها ببعض عند سرعة عالية. وفي عام ١٩٨٣ اختبر مختبر سيرن نظرية الكهروضعيفة بصدم البروتونات بمضاد البروتونات عند طاقات مكافئة لإثني عشر ضعفاً من كتلة البروتون وكوفئوا باكتشاف جسيمي W وجسيم Z التي تنبأت بها نظرية غلاشو – عبد السلام – واينبرغ GSW.

النموذج القياسي

وفي تلك الأثناء لم يهمل النظريون القوة النووية القوية – تلك التي تربط الكواركات بعضها ببعض. وقد استنتج سيناريو معين بالقياس على الإلكتروديناميك الكمومي وهي نظرية تفسر كيفية تفاعل الجسيمات المشحونة عن طريق الفوتونات. ويسير السيناريو على النحو التالي. تحمل الكواركات نوعاً من القوة القوية «**شحنة**» تجعلها تتفاعل مع حقل «**قوي**». وتدعى الشحنة القوية ***لون color*** (ليست هناك أية صلة بالمعنى العادي لهذه الكلمة). ولجعل النظرية تعمل تحتاج إلى ثلاثة ألوان (بالمقارنة مع شكل وحيد من الشحنة الكهربائية). وبدلاً من الفوتون تحتاج إلى ثمانية جسيمات تبادل دعيت بالغلونزلتلصق الكواركات بعضها ببعض. اقترحت نظرية وفق هذا المنحى دعيت باللون الديناميكي الكمومي QCD عام ١٩٧٣ من قبل ديفيد غروس وديفيد بوليتزر وفرانك ويلزيك وهي تصف بأناقة البيانات التجريبية المعروفة المتعلقة بالهاردونز.

ومن وجهة نظر التجربة فهذا آخر ما توصلنا إليه. لقد توطدت التقدمات التي وصفتها – نظرية الكوارك و الليبتونات وتوحيد الكهروضعيفة – في ما يدعى الآن «النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات» وهي تصف ١٢ كواركاً و ١٢ ليبتوناً (كما هو موضح في الجدول ١) وتتضمن نظرية GSW في القوة الكهروضعيفة ونظرية ال QCD في القوة القوية.

اختبر النموذج القياسي بطرق مختلفة خلال الثلاثين عاماً الماضية ونجح دوماً بتفوق. ومع ذلك يصرّ الفيزيائيون على أنه ليس القول الفصل في هذا الموضوع. فأولاً ألمحت بعض التجارب مسبقاً لفيزياء جديدة تتخطّى النموذج القياسي ستتضح عندما يبدأ المسرّع LHC بالعمل. ثم هناك بعض الحقائق الهامة التي لا يقول النموذج القياسي شيئاً عنها، مثل الحاجة إلى ثلاث عائلات من الكواركات والليبتونات ووجود المادة المعتمة والطاقة المعتمة (واللتين سأصفهما في الفصل السادس). والأكثر من ذلك فللنموذج القياسي حالة من العمل غير المكتمل. إن أحد الخصائص القبيحة هي الطريقة التجريبية المؤقتة التي يجمع فيها القوى الكهروضعيفة والقوية بعضها ببعض مثل تفاحات وأجاصات في السلة ذاتها دون محاولة توحيدها. ويبدو النموذج القياسي كمنزل يقع في منتصف الطريق نحو نظرية موحدة تماماً حيث تندمج القوة الكهروضعيفة والقوة القوية في **قوة فائقة وحيدة**.

والعيب الآخر في نظرية النموذج القياسي هو أن القوة الرابعة في هذا الرباعي وهي الثقالة تهمل في هذا التوصيف تماماً. وعلى الرغم من أن كل الجسيمات تشعر بقوة الثقالة فإنها ضعيفة جداً بحيث تتلاشى عمليات الثقالة على المستوى تحت الذري أمام تأثيرات القوى الأخرى. وأيضاً فالثقالة كائن غريب بالنسبة لبقية القوى لأنها يمكن أن توصف ليس كقوة وإنما كانحناء للهندسة الزمكانية. وتجعل هذه الخاصة الهندسية من الصعب جلب الثقالة ضمن الوصف الكمومي الذي يناسب القوة الكهرطيسية والقوة الضعيفة والقوة القوية. ومع ذلك فمن الغريب أن تكون هناك قوتان للطبيعة – قوة

كهروضعيفة / قوية موحدة وقوة الثقالة. ويشير التوحيد المتتابع للجسيمات والقوى إلى وجود-وحدة شاملة تدمج **كل شيء** في مخطط رياضي موحد. لقد برهن إغراء نظرية نهائية – نظرية لكل شيء – أنه لا يقاوم بالنسبة لجيل من الفيزيائيين النظريين. ويدّعي بعض المتحمسين أنهم الآن على وشك الوصول إلى هذا الهدف.

النقاط الرئيسة :

- المادة مصنوعة من ذرات والذرات من إلكترونات ونوى والنوى من بروتونات ونيوترونات والبروتونات والنيوترونات من كواركات. وهناك جسيمات أخرى إضافية عديدة لكن معظمها يتخافت بسرعة عالية. ومعظمها عبارة عن تراكيب من الكواركات ومضاداتها.
- هناك أربع قوى أساسية – الثقالة والكهرطيسية والقوة النووية القوية والضعيفة تكفي لشرح كيفية تصرف المادة المعروفة كلها. وتوصف القوى على المستوى الكمومي على أنها تبادل لجسيمات افتراضية.
- تنقسم جسيمات المادة إلى كواركات وليبتونات. وتشعر الكواركات بالقوة القوية بينما لا تشعر بها الليبتونات.
- ربما كانت هذه القوى الأربعة مرتبطة بعضها ببعض. تم توحيد قوتين منها وهما القوة الكهرطيسية والقوة الضعيفة بنجاح على شكل القوة الكهروضعيفة.
- يوحّد **النموذج القياسي** لفيزياء الجسيمات النظرية الكهروضعيفة بنظرية للقوة القوية تدعى الكروموديناميك الكمومي QCD. وهي ناجحة جداً في شرح ما نعرفه عن فيزياء الجسيمات. ومع ذلك تبقى هناك بعض الحقائق الهامة بدون تعليل من نظرية النموذج القياسي ولذا يعتبرها الفيزيائيون خطوة أولى فقط نحو نظرية أكثر شمولاً.



الفصل الخامس

إغراء التوحيد الكامل

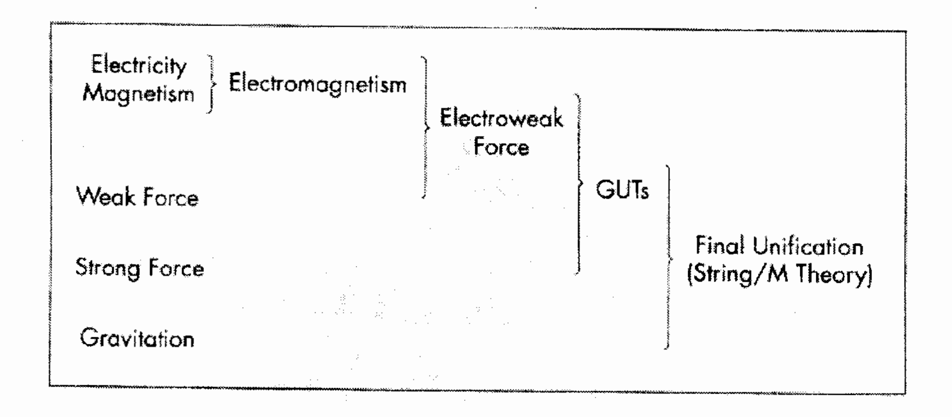
نظريات موحّدة عظمى

إن العلم كله عبارة عن بحث عن **التوحيد**. لقد بدأ العلم كما نعرفه اليوم عندما اكتشف غاليلو ونيوتن وآخرون العلاقة بين حركة الأجسام على الأرض وحركة القمر والكواكب. وكانت العلاقات الشهيرة الأخرى اكتشاف العلاقة بين الكهرباء والمغناطيسية وعلاقتهما بالضوء وعلاقة آينشتاين الشهيرة $E=mc^2$ التي بيّنت أن الكتلة والطاقة متكافئان. إن إيجاد الصلات الخفيّة بين ظواهر مستقلة ظاهرياً هو الذي يجعل الطريقة العلمية قوية ومقنعة. إن الخاصة المميزة للعلم هي أنه شامل وعميق في آن معاً: فهو شامل بالطريقة التي يعالج فيها الظواهر الفيزيائية **كلها** وعميق بالطريقة التي **يحيكها** باختصار في مخطط تفسيري مشترك يحتاج إلى افتراضات اقل فأقل. وليس هناك نظام آخر من التفكير يمكنه أن ينافس العلم في شموليته وعمقه.

كان الاندفاع لتجاوز ما يعرف الآن **بالنموذج القياسي** لفيزياء الجسيمات واضحاً منذ السبعينات، عندما بدأ استخدام مصطلح النظرية

العظمى الموحدة GUT. وبعد نجاح نظرية الكهروضعيفة الموحدة (أي نظرية GSW) نشر العديد من النظريات العظمى الموحدة التي ادّعي أنها توحد القوة الكهروضعيفة مع القوة النووية القوية باستخدام الفكرة الأساس نفسها ل GSW، ولكن بجلب ثمانية غلوانز من QCD أيضاً. قدمت النظرية العظمى الموحدة GUT تنبؤاً واضحاً ومؤثراً: لا بد أن يتناقص الاختلاف بين القوى الثلاث جميعها مع زيادة الطاقة. لكن مقياس التوحيد مختلف جداً بالفعل. لقد أظهرت الحسابات أن القوى الثلاث تقترب نحو قوة متساوية واحدة عندما تبلغ الطاقة حوالي ١٠ تريليون مرة طاقة الكهروضعيفة الموحدة (انظر الشكل ١٨).

ولكن يبدو لسوء الحظ أن تحقيق هذه الطاقات مهمة شاقة جداً. وفي الحقيقة يقع مقياس التوحيد ل GUT أبعد حتى من أعلى- طاقة للأشعة الكونية مما يجعل اختبار هذه النظريات تجريبياً صعباً جداً - ولكنه ليس مستحيلاً. وعلى سبيل المثال تسمح بعض ال GUT بدرجة ضئيلة من الخلط أوالتدفق بين القوة النووية القوية والقوة الكهروضعيفة. وأحد هذه التأثيرات هو السماح بالتحوّل بين الجسيمات الذي هو ممنوع في النموذج القياسي: وعلى سبيل المثال يمكن للكواركات في حالات نادرة أن تتحول إلى ليبتونات والعكس صحيح. إن أحد مظاهر مثل هذا التحول هو تخافت البروتونات تلقائياً إلى بوزيترونات. لقد أجريت تجارب للبحث عن هذه الحالة ولكن بدون نجاح. ولو حدث مثل هذا التخافت فلا بد أن يتجاوز متوسط عمره $١٠^{٣٥}$ سنة أو أنه لوحظ حتى الآن[1]. وسيكون لتخافت البروتون تأثيرات عميقة على المصير النهائي للكون لأنه يعني - على مدى مدد زمنية ضخمة - أن المادة العادية كلها ستتبخر ببطء. فالغاز والغبار والصخور والكواكب وحتى البقايا المحترقة من النجوم ستختفي نهائياً في آخر الزمان.



الشكل ١٨ توحيد القوى

يعتقد الفيزيائيون بأن من الممكن ربط قوى الطبيعة كلها بعضها ببعض ربما في مخطط موحد مثل نظرية الأوتار الفائقة / M. تاريخياً، كانت الكهرباء والمغناطيسية أولى عمليات التوحيد (بواسطة ماكسويل عام ١٨٥٠). ثم دمجت القوة الكهرطيسية بالقوة النووية الضعيفة لتشكل القوة الكهروضعيفة من قبل عبد السلام وغراشو واينبرغ (نظرية GSW) وأثبتت بالتجربة. وحاولت نظريات موحدة عظيمة (GUT) عدة توحيد القوة النووية القوية بالقوة الكهروضعيفة ولكن لا يوجد حتى الآن تأكيد تجريبي عليها. وتجلب الثقالة إلى برنامج التوحيد في خطوة نهائية لتضمّن في نظريات شائعة كنظرية الأوتار الفائقة ونظرية M.

ما الذي حدث للمادة المضادة جميعها؟

إن احتمال أن لا تكون البروتونات مستقرة تماماً أساسي أيضاً لأصل الكون. فإذا كان من الممكن للمادة أن تختفي فمن الممكن لها أيضاً أن **تظهر** (بعملية معاكسة). ويقدّم هذا دليلاً على أحد أعمق إشكالات علم الكون: أصل المادة. لقد صنعت المادة بطريقة ما في ومضة من الطاقة الحرارية الناجمة عن الانفجار الكبير. ولكن يودّ علماء الكون معرفة كيف حدث ذلك ***بالضبط***، ولماذا تلك الكمية المعينة (10^{50} طن في الكون الملاحظ). وعندما تصنّع

المادة في المختبر بواسطة التصادم عند طاقات عالية تظهر الكمية نفسها من مضادات المادة أيضاً[٢]. وإذا كان الكون يحتوي على المقدار نفسه من المادة ومضاداتها فسنكون عندئذ في ورطة. فكلما اختلطت المادة بمضادها فإنهما يفنيان بسرعة بانفجارعلى شكل أشعة غاما. وحتى في الفضاء الخارجي يحدث كثير من الاختلاط عندما ترتطم سحب الغاز بعضها ببعض على سبيل المثال. وما لم يحافظ على المادة ومضاد المادة على مقياس ضخم (مقياس أكبر بكثير من حجم مجرة) فسيغمر الكون بإشعاع غاما محدد. لقد بحث علماء الفلك عنه بدون نجاح، ولذا فقد استنتجوا أن أقل من واحد على المليون من مجرتنا هو على شكل مضاد المادة. ويفترض معظم علماء الكون أن العالم الملاحظ بكامله مصنوع بمعظمه من مادة. ولذا فإن هذا يثير معضلة: كيف صنع الانفجار الكبير $١٠^{٥٠}$ طناً من المادة دون أن يصنع أيضا $١٠^{٥٠}$ طناً من المادة المضادة؟

من الواضح أن التناظر بين المادة ومضاد المادة لا يمكن أن يكون كاملاً. لا بد أن شيئاً ما حطّم هذا التناظرمفضّلاً المادة قليلاً على مضاد المادة. وتشتمل النظريات الموحدة العظمى بشكل طبيعي على تحطيم التناظر الضروري. ولو استطاع بروتون التحول إلى بوزيترون فيمكن عندها (بالذهاب في الاتجاه المقابل) لزوج من إلكترون- بوزيترون أن يتحول إلى زوج من إلكترون- بروتون وهو فعلاً ذرة هيدروجين بدون ذرة مضاد هيدروجين مصاحبة لها. ولكن مهما كانت الطريقة التي تمت بها فإن قصة أصل المادة هي على الشكل التالي. ولّد الإشعاع الحراري المنطلق بعد الانفجار الكبير كميات وفيرة من المادة ومضاد المادة مخلوطة بعضها ببعض ولكنها كانت تحتوي على كمية ***زائدة قليلاً*** من المادة. ومع تبرد الكون تحطمت المادة المضادة تماماً بسبب تلامسها الوثيق مع المادة مخلّفة البقية القليلة من المادة الزائدة بدون تغيير. – حوالي ١ جزء من بليون. لقد أدى الإفناء الجماعي لمضاد المادة ولمعظم المادة إلى غمر الكون بفوتونات أشعة غاما. أين هي الآن؟ الجواب أنها فقدت معظم طاقتها مع تمدد الكون وتبرده

لتصبح في النهاية فوتونات ميكروية. إنها تشكّل الإشعاع الخلفي الميكروي للكون. ولذا فهذا الإشعاع هو بقايا متخافتة من الإبادة الأولية التي جرت لمضاد المادة منذ بدء الزمن.

وبالنظرإليها بهذه الطريقة، تعتبر المادة تقريباً بمثابة نتيجة ***ثانوية*** للكون. ولكن كم هي مهمة هذه النتيجة الثانوية ! فبدون المادة لم يكن من الممكن وجود الحياة. ولذا فوجودنا نفسه – من غير أن نذكر وجود الكون الملاحظ – يعتمد على المقدار الضئيل جداً من تحطيم التناظر بين المادة ومضاد المادة والذي يعتمد بدوره على كيفية اندماج الكواركات واللبتونات والقوى التي تعمل بينها بعضها ببعض في نوع من ***التوحيد العظيم*** غير المكتشف حتى الآن.

التناظر الفائق

من السهل معرفة سبب إصابة الفيزيائيين بجرثومة التوحيد. لقد نظّمت المجموعة الوفيرة من الجسيمات تحت الذرية بنجاح حول النظام الأنيق المبين في الجدول ١ وأنقصت القوى الأربعة إلى ثلاثة وربما إلى اثنتين مع وعد بقوة فائقة واحدة (انظر الشكل ١٨). إن ***التقارب*** هو اسم اللعبة لكن الفيزيائيين النظريين وضعوا نصب أعينهم منذ فترة طويلة مشروع التوحيد الأكثر طموحاً، وهو المشروع الذي يوحّد بين ***الجسيمات والقوى*** أيضاً. فتح هذا المطمح الخادع بحقيقة أن القوى يمكن أن توصف بمصطلحات التبادل بين الجسيمات كما هو موصوف في الشكل ١٧. لماذا إذن لا توضع نظرية تدمج فيها كل الجسيمات – جسيمات المادة وجسيمات التبادل – بعضها ببعض في عائلة فائقة ضخمة؟

يجب قبل اتخاذ هذه الخطوة مواجهة اختلاف جوهري بين هذين النوعين من الجسيمات يتعلق بلفهما. فالجسيمات الأولية للمادة كلها كالكواركات واللبتونات تمتلك اللف ٢/١. وبالمقابل تمتلك جسيمات التبادل المعروفة كلها اللف ١(ولو كان الجاذب موجوداً فسيمتلك اللف ٢). ربما يبدو

هذا أمراً تقنياً بحتاً إلا أنه ليس كذلك. فلف الجسيم يؤثر بعمق على خصائصه وخاصة على طريقة تصرف الجسيمات ككل. تتبع الدقائق ذات اللف ٢/١ قاعدة تعرف ***بمبدأ استبعاد باولي*** نسبة إلى فولفغانغ باولي Wolfgang Pauli الذي اكتشفه فيّ العشرينات. يمنع هذا المبدأ ان يحتل أكثر من جسيم من كل نوع الحالة الكمومية نفسها في الوقت نفسه (فعلى سبيل المثال، لا يمكنك ضغط الإلكترونات كثيراً بقرب بعضها بعضاً) وله نتائج بعيدة الأثر: من بعضها جمود المادة وبنية الذرات وقوانين الكيمياء واستقرارية النجوم ونتائج أخرى عديدة.

لا ينطبق مبدأ باولي على جسيمات التبادل التي تحمل القوى لأن لها لفاً يساوي ١ أو ٢ وليس هناك حد لعدد الجسيمات التي يمكن ضغطها قرب بعضها بعضاً[٣]. ففي شعاع الليزر على سبيل المثال يحتل عدد لا محدود من الفوتونات الحالة الكمومية نفسها. وتعرف الجسيمات ذات اللف من عدد صحيح (٠ أو ١ أو ٢ ...) بالبوزونات (على اسم ساتيندرا بوز Satyendr Bose)، بينما تدعى الجسيمات ذات اللف من أنصاف العدد الصحيح (٢/١ و٢/٣ و..) بالفيرميونات fermions (نسبة إلى العالم إنريكو فيرمي Enrico Fermi). ولذا فتوحيد المادة والقوى يعني توحيد الفيرميونات والبوزونات وهما نوعان مختلفان جداً بحيث تبدو المهمة مستحيلة من البداية. لكني وجدت عام ١٩٧٣ طريقة للالتفاف حول هذه المعضلة. ولأخذ فكرة عن عملها، يجب أن يكون لديك بعض الإلمام بطبيعة اللف الذاتي للجسيم. يتصرف الجسيم بلف ٢/١ بشكل غريب عندما يدور محوره (يمكن تدوير محاور اللف للجسيمات تحت الذرية بتطبيق حقل مغناطيسي). فكّر بجسم ضخم ككوكب مثلاً يلف. لو أدير ب °١٨٠حول خط يمر بخط الاستواء (عمودي على محور اللف) فسيعكس القطب الشمالي والجنوبي. وإذا أدير °١٨٠ درجة أخرى فسيعود الشكل الأول كما كان. وإلى هنا فالأمر واضح أما الآن فيأتي دور الجزء الغريب. إذا قمت بفعل الشيء نفسه على إلكترون (أو أي فيرميون بلف ٢/١) فعليك أن تديره ب°٧٢٠ درجة- أي بدورتين كاملتين –

قبل أن يعود إلى وضعه الأصلي! وهذا واحد من عدد من خصائص الميكانيك الكمومي التي يستحيل تخيلها ولكن ليس هناك شك في صحتها. وبصورة ما يمتلك الفيرميون نوعاً من الرؤية المزدوجة للعالم. ولكن البوزون لا يشاطره ذلك. ويكمن مفتاح تقديم نظرية موحدة للفيرميونات والبوزونات بإيجاد وصف هندسي يدمج شكلي الدوران في مخطط رياضي واحد. لقد اكتشف جوليوس فيس Julius Wess وبرونو زومينو Bruno Zumino مثل هذا المخطط الذي يدعى ***التناظر الفائق***.

لووجد التناظر الفائق في الطبيعة فإنه سيقوم بتنبؤ كاسح: فلكل نوع من الفيرميون يجب أن يكون هناك بالمقابل شريك ذو تناظر فائق من البوزون والعكس صحيح. ولذا يجب توأمة الإلكترونات مع ما يدعى بالسيليكترونات selectrons وهي نظائرها الفائقة ذات اللف صفر. (الجسيم بلف صفر هو بوزون لا يمتلك لفاً ذاتياً). ويجب أن تكون هناك أيضاً سكواركات، سنيوترينوات... الخ. وبالمقابل تتوأم الفوتونات مع جسيمات بلف ٢/١ تدعى فوتينوز photinos. وبالتالي يجب أن يكون هناك وينوز وزينوز وغلوينوز وغرافيتينوز. (الأخير عبارة عن فيرمينوز بلف يعادل ٢/٣). لقد وضعت كل هذا في الجدول ٣. إنه شيء مدهش – إلا أنه لم يكتشف شريك تناظري فائق من أي نوع إلى الآن. ولكن هذا لا يعني أن التناظرية الفائقة خاطئة. فلوكانت تناظراً تاماً للطبيعة لوجب أن تكون كتلة السيليكترونات مساوية تماماً لكتلة الإلكترونات وكتلة الوينوزمساوية لل W..... وهكذا. ولكن لو حطمت آلية فيزيائية ما التناظر الفائق فإنها ستجعل كتل شركاء التناظر الفائق كلها ضخمة جداً. ليس من المستغرب بعد ذلك أنه لم يتم تصنيع مثل هذه الجسيمات الشريكة حتى الآن في التصادمات ضمن المسرعات. (على الرغم من أنها قد تكون موجودة في الأشعة الكونية أو المادة المعتمة). ويعلق العديد من الفيزيائيين آمالهم على صادم هاردون الضخم لسيرن، ويتنبؤون بصنع جسيم

شريك فائق التناظر واحد على الأقل. وإذا ما تم ذلك فإنه سيؤكد بأن المادة والطاقة هما بالفعل مجرد وجهين لمخطط تناظري فائق أساسي وحيد.

كارثة في الأسفل

استخدمت في هذا الفصل حتى الآن الكلمة **جسيم** بطريقة مهذبة دون أن أقول شيئاً عن الحجم أو الشكل. يجب الآن مواجهة هذه القضية. كيف علينا أن نتصور الإلكترون مثلاً؟ من المغري أن نفكر فيه على شكل كرة صغيرة تمتلك شحنة كهربائية منتشرة فيها. ولو كان الإلكترون حقاً كذلك فإنه سيثير أسئلة صعبة مثل ماهية المادة داخل الإلكترون وكيف ترتبط ببعضها بعضاً، خاصة وأن الشحنة الكهربائية منفرة وتحاول أن تمزق هذه الكرة الصغيرة. ومن الواضح أنه إذا أمكن نزع الإلكترون فلن يكون جسيماً أولياً حقاً.

SUPERSYMMETRY

Spin 0	Spin ½	Spin 1	Spin 3/2	Spin 2
Higgs	Higgsino			
Slepton	Lepton			
Squark	Quark		Gravitino	Graviton
	Gluino	Gluon		
	Photino	Photon		
	Zino	Z		
	Wino	W		

الجدول ٣

يتنبأ مخطط رياضي ممتع يدعى التناظر الفائق بأن لكل جسيم معروف شريك مرافق بوحدات مختلفة من اللف بحيث يكون لكل فيرميون بوزون شريك مرافق والعكس صحيح. ولم يكتشف جسيم شريك فائق التناظر حتى الآن مما يشير إلى أن الطبيعة لا يمكن أن تكون فائقة التناظر تماماً.

إن أحد الطرق للالتفاف على هذه المشكلة هو أن يكون الإلكترون صلباً تماماً كشبيه مصغر صلب لكرة غولف – مما يجعله غير قابل للتحطيم. ولكن هناك مشكلة لهذا الاقتراح تتعلق بنظرية النسبية (والتي تنطبق حتى على مستوى الجسيمات تحت الذرية). تصور أنك تضرب كرة غولف بمضرب وتطلقها نحو الأعلى. ولأنها صلبة تماماً فمن المفترض أن تتحرك كرة الغولف دون أي تغير في الشكل: فكل أجزاء كرة الغولف تتحرك مع بعضها بعضاً. ولكننا نصطدم الآن بعقبة. لا يمكن لأية قوة أن تسير بأسرع من الضوء ولذا فإن الضربة التي ضرب بها أحد جانبي الكرة لا يمكن الإحساس بها من الجانب لآخر قبل انقضاء الوقت الذي يستغرقه الضوء للمرور خلال الكرة على الأقل. وبالتالي سيبدأ الجانب المضروب بالحركة قبل الطرف البعيد الآخر. وعندها لا بد أن يتغير شكل الكرة – ستنضغط. ويتبع من هذا أنه لا بد أن يكون للكرة مقدار معين من الانضغاطية : فالأجسام **الصلبة** تماماً لا تتوافق مع نظرية النسبية. ولكن إذا أمكن ضغط الإلكترون فممن الممكن مده أيضاً– وإذا هوجم بعنف كاف فسوف يتمزق. ولذا لا يمكن لإلكترون على شكل كرة غولف صغيرة أن يكون جسيماً أولياً حقاً.

ولكن ماذا لو تصورنا أن الكرة الصغيرة تقلصت إلى نقطة وحيدة؟ لن يستغرق الضوء عندها وقتاً على الإطلاق لعبور المسافة (صفر) عبرها. لكن هذا لسوء الحظ يحل مشكلة ليثير مشكلة أخرى. فهناك شحنة كهربائية موزعة خلال الكرة الصغيرة. تصور محاولة تقليص الكرة مع شحنتها الداخلية إلى قطر أصغر فأصغر. إن ضغط الشحنة إلى أحجام أصغر يتطلب صرف طاقة للتغلب على التنافر الكهربائي. وبحسب قانون مقلوب التربيع للقوة الكهربائية المكتشف في القرن الثامن عشر من قبل تشارلز كولومب Charles Coulomb [٤] فإن التنافر بين أجزاء الكرة سيزداد بدون حدود مع ضغط الشحنة إلى حجوم أصغر. وستلزم كمية لا متناهية من الطاقة لضغط الكرة إلى قطر صفر وستخزن هذه الطاقة ضمن الإلكترون. وبأخذ علاقة آينشتاين $E=mc^2$ بعين الاعتبار فإن طاقة داخلية لا متناهية تحمل المعنى الخرافي بأن تكون كتلة الإلكترون لا متناهية.

ولذا فلدينا معضلة: لا يمكن للإلكترون أن يكون نقطة ولا كرة محددة الحجم دون أن يتعارض ذلك مع الحقيقة.

قد تفكر الآن بأن الميكانيك الكمومي سيأتي للإنقاذ هنا. يبدو أن تشتيت الموقع الفراغي لجسيم على شكل نقطة يتفادى صعوبة تراكم أجزاء الشحنة الكهربائية كلها في مكان واحد. لكن الحقيقة هي أن الميكانيك الكمومي يجعل المشكلة أكثر تعقيداً. ولمعرفة كيف يتم ذلك تذكّر كيف تنقل القوى الكهربائية في الميكانيك الكمومي – بتبادل الفوتونات (الشكل ١٧). ستعمل القوى نفسها ايضاً بين الأجزاء المختلفة من الشحنة الموزعة خلال «الكرة الصغيرة» مما يعني أن سرباً من الفوتونات الافتراضية يحيط بالإلكترون ويخترقه. وتظهر الحسابات أن طاقة هذا السرب تزداد مع تناقص حجم الإلكترون لأن الفوتونات الافتراضية القريبة هي الأكثر طاقة. وتزداد الطاقة الكلية للسرب إلى ما لا نهاية مع تقلص قطر الإلكترون إلى الصفر. وليس من المهم أن يكون الموقع الفراغي الكلي للإلكترون غير محدد: فأينما يكون تكون السحابة هناك معه، لتلبسه كمية غير محدودة من الطاقة وبالتالي الكتلة.

ما الذي نستنتجه من هذا؟ يمكن للفيزيائيين باستخدام الحيل الرياضية أن يتجنبوا اللانهايات وأن يتابعوا استخدام نظرية الكهروديناميك الكمومي للحصول على إجابات معقولة لأسئلة تتعلق بكتل الجسيمات ومستويات الطاقة وعمليات التشتيت وما إلى هنالك. وتظل النظرية ناجحة جداً. ولكن حقيقة حدوث اللانهايات ظاهرة مقلقة تشير إلى أن شيئاً ما خاطئ بعمق وهو شيء يتطلب إيجاد حل له.

ويمكن تطبيق التحليل العام نفسه على حقل الثقالة. وسيتطلب تقليص قطر الكرة إلى الصفر طاقة جاذبة لا متناهية. (لقد وصفت مسبقاً في الفصل الثالث **منفردة** الزمكان التي تنجم عن ذلك). وبحسب الميكانيك الكمومي تحمل قوة الثقالة بواسطة الجاذب (غرافيتون). ويمكن تصور حقل الثقالة المحيطِ بجسيم على شكل سحابة من الجاذبات الافتراضية. وكما في حالة الكهرطيسية تتبع

اللانهائيات. ولكن هناك بالنسبة للثقالة صعوبة مزدوجة. سيحاط أي جسيم نقطي (الإلكترون على سبيل المثال) بسحابة غرافيتون افتراضي تحتوي على طاقة لا متناهية. ولكن لأن الطاقة هي مصدر للثقالة فإن الغرافيتونات تساهم بنفسها في الحقل الكلي للثقالة. (في الحقيقة فالثقالة تجذب). ولذا فكل غرافيتون افتراضي في السحابة المحيطة بالجسيم المركزي يمتلك ***سحابته*** من الغرافيتونات المتجمعة ***حوله***... وهكذا إلى ما لا نهاية: سحب حول سحب حول سحب... وكل سحابة تحتوي طاقة لا متناهية ! ولا يمكن هذه المرة تجنب اللانهايات بسهولة. إن الوصف الكمومي المباشر لحقل الثقالة ينتج تسلسلاً غير محدود من اللانهايات محطّماً أي أمل في الحصول على تنبؤات معقولة من النظرية[5].

الأوتار: نظرية لكل شيء؟

أشكلت مسألة اللانهايات وخاصة تلك الناجمة عن تطبيق الميكانيك الكمومي على حقل الثقالة مادة فيزياء الجسيمات لعقود، ولكن الفيزيائيين في الثمانينات وجدوا طريقة لتجاوزها. كانت الفكرة الأساسية هي التخلي عن موضوع الجسيمات تماماً واستبدالها ***بأوتار*** مرنة تتحرك بحسب قواعد الميكانيك الكمومي. وفي النسخة الأبسط من النظرية الجديدة تشكل الأوتار حلقات مغلقة لكنها ضئيلة جداً بحيث يتطلب الأمر سلسلة مؤلفة من مئة بليون بليون منها كي تمتد عبر نواة ذرة واحدة. ولذا ما اعتبرناه مسبقاً جسيماً كالإلكترون على سبيل المثال – هو في الحقيقة (بحسب هذه النظرية) **حلقة من وتر** إلا أننا لا نراها على هذا الشكل لأن الحلقة صغيرة جداً.

إن الشيء الجذاب حول نظرية الأوتارالفائقة هي أنك تحتاج إلى نوع واحد من الأوتار لتصنع الجسيمات **كلها**: فيرميونات وبوزونات، جسيمات مادة وجسيمات تبادل – الكل. ويمكن للوتر أن يهتز بأنماط مختلفة حيث يتعلق **كل نمط بجسيم مختلف**. فإذا اهتز الوتر بهذه الطريقة فهو إلكترون وإذا اهتز بطريقة أخرى فهو كوارك وهكذا.... وتقدم نظرية الأوتار وصفاً طبيعياً لكل الجسيمات المعروفة. وهي تشمل التناظر الفائق، ولذا فهي تصف

أيضاً الجسيمات فائقة التناظر المختلفة المشتركة. (ولهذا السبب دعيت أحياناً بنظرية **الأوتار الفائقة**). لا تسأل ما المادة التي تصنع منها الأوتار نفسها: الفكرة كلها هي أنها كائنات أولية لا تتفكك يبنى منها كل شيء أخر. وبهذا الصدد فالأوتار قريبة جداً من روح النظرية الذرية الأصلية للمادة ولكنها أفضل منها. وهي تشرح أيضاً كيف تتفاعل الجسيمات دون إدخال مبدأ منفصل: وتأتي القوى من نظرية الأوتار أيضاً لأن هناك أيضاً حركات للوتر تصف جسيمات التبادل المختلفة مثل الفوتونات والغلونات. ومن المهم أن نظرية الأوتار أنتجت نتائج محددة في الحسابات التي أجريت حتى الآن كلها بما فيها تلك التي تتعلق بالثقالة، ولذا فهي تعد بتجنب المعضلة الرياضية في عدوى النظرية بالكميات اللانهائية.

إن الأوتار صغيرة جداً بحيث تصعب معرفة كيف يمكن ملاحظتها مباشرة. وبهذا الخصوص فنحن في موقع مشابه للفلاسفة اليونان الذين اقترحوا الذرات دون أن يكون لديهم أي أمل في رؤيتها فعلاً. ولإظهار تفاصيل وتر، يتطلب الأمر وجود مسرّع جسيمات أقوى بتريليونات المرات من أي شيء بني حتى الآن. وحتى الشعاع الكوني ذو الطاقة الأعلى لا زال أضعف ببليون مرة. و لن يشكل عدم توفر برهان مباشر على وجود الأوتار مشكلة كبرى، إذا استطاعت النظرية تقديم تنبؤات واضحة حول العالم منخفض الطاقة نسبياً الذي يمكننا الوصول إليه بالتقنية الحالية، ولكنها لا تقوم بذلك (حتى الآن على الأقل). ولذا تتعامل نظرية الأوتار بمجال نادر من طاقات عالية جداً ومسافات صغيرة جداً وليس لديها حتى الآن الكثير لتقوله حول الفيزياء الواقعية التي تجرى في مختبرات واقعية[٦].

تتعلق قضية أخرى بالمكان الذي تتحرك فيه الأوتار – وهو المكافئ الوتري لفراغ ديموقرطيس. هناك أمل في أن يظهر الزمان والمكان من نظرية الأوتار كجزء من وصفها للواقع، ولكن هذا لم يتحقّق حتى الآن. عليك أن تفترض أن الزمان والمكان موجودان مسبقاً ليقدّما مجالاً تتحرك فيه

الأوتار. لكن المسألة في الواقع أسوأ من ذلك. وفي أبسط صيغ نظرية الأوتار من الضروري إدخال أبعاد جديدة للمكان. أي يجب إضافة أبعاد أخرى إلى كوننا الطبيعي ذي الأبعاد الثلاثة. ولأننا لا نشعر بأبعاد الفضاء الإضافية علينا أن نخترع آلية لإخفائها – وتدعى هذه العملية **بالانضغاطية** التي شرحتها مسبقاً في الفصل الثاني. إن انضغاط الأبعاد الإضافية على الرغم من صعوبة تصوره ليس بحد ذاته مشكلة خطيرة بالنسبة للنظرية. فالقضية الأعقد هي حقيقة أن شكل الأبعاد المنضغطة وطبولوجيتها ليسا وحيدين. وفي الحقيقة فهذا تبسيط مبالغ فيه. فحتى الأبعاد الإضافية القليلة يمكن ضغطها في عدد ضخم من الأشكال والطبولوجيات بحيث يقود كل ترتيب إلى جسيمات وقوى مختلفة في العالم ثلاثي الأبعاد الباقي (غيرالمنضغط) [٧]. وبحسب نظرية الأوتار ينتمي عالمنا إلى **واحد فقط** من الأشكال المنضغطة. ولكن أي شكل؟ ماذا عن الأشكال الأخرى؟ ما نوع العوالم التي تصفها؟ كل ما يمكن أن يقال هو أنها ستكون مختلفة عن العالم الذي نلاحظه. يمكن لبعضها أن يمتلك عشرة أصناف من النيوترينو بدلاً من ثلاثة، أو خمسة أنواع من الفوتونات. ويمكن أن تمتلك أخرى أربعة كواركات فقط، أو عدداً منها يبلغ الأربعين. ويمكن أن تكون هناك عوالم تكون الكهرطيسية فيها أقوى من القوة النووية القوية أو توجد فيها ثماني قوى بدلاً من أربع – وهكذا دواليك. من الواضح أن عالمنا احتمال واحد فقط بين عدد مذهل من البدائل. وبما أن هدف نظرية الأوتار هو توحيد الطبيعة فيبدو أنها تأخذ خطوة للوراء حين تتنبأ بعدد كبير من العوالم البديلة.

ينقسم منظرو نظرية الأوتار بشدة حول كيفية حل قضية التعددية هذه. ويعلّق بعضهم آماله في فهم أفضل للبنية الرياضية للنظرية التي يعتقدون أنها قد تعطي حالة وحيدة مماثلة للحالة الأساسية لذرة هيدروجين – الحالة الأكثر استقراراً وبالتالي الأكثر احتمالاً. إذا كانوا على حق فمن الأفضل أن تنطبق فيزياء الطاقة المنخفضة التي وصفت بهذه الحالة الخاصة على العالم الذي نلاحظه – أو أن النظرية خاطئة فوراً. ولكن منظرين آخرين للنظرية فقدوا

الأمل بظهور حل وحيد للعلاقات وواجهوا بجرأة عواقب الانتشار الهائل للعوالم الأخرى الممكنة. وفي الحقيقة فقد حوّلوا خطيئة إلى فضيلة. وكما سأشرح في الفصل التالي فقد أثاروا العدد الكبير من العوالم الممكنة في محاولة لشرح تأثير **معامل غولديلوك**.

نظرية M

اصطدمت نظرية الأوتار بمشكلة أخرى عندما وجد أنه لا توجد نظرية وحيدة فقط ولكن خمس نظريات. وبدا للحظة أن هذا التعدد في النظريات إضافة إلى العدد الكبير من التشكيلات المنضغطة البديلة سوف يفشل المشروع بكامله. ولكن في اللحظة التي فقد فيها الناس الأمل، جاء الإنقاذ من جهة غير متوقعة. ففي منتصف الثمانينات اقترحت مجموعة صغيرة من المنظّرين أن من الممكن وصف الأوتار التي تتحرك في عشرة ابعاد (تسعة للمكان وواحد للزمان) بأناقة أكبر على شكل صفائح أو ***أغشية*** تتحرك في ١١بعداً (عندما تلفّ الصفيحة على شكل ماصة للشرب تبدو كوتر)[٨]. ولسنوات عديدة تم تجاوز فكرة الغشاء ولكن جو بولينسكي Joe Polchinski من معهد كافلي للفيزياء النظرية في سانتا باربرا وجد في منتصف التسعينات أنه في النظريات التي لا تغلق فيها الأوتار على شكل حلقة ولكن يوجد لها طرفان مفتوحان ينتهي هذان الطرفان **بأغشية**[٩].

كان هذا هو الذي كسر الحلقة. أظهر الرياضي الفيزيائي اللامع ايد ويتون Ed Witten من معهد الدراسات المتقدمة في برنستون أن وصف الغشاء وحّد النسخ الخمس المختلفة لنظرية الأوتار. ودعا هذا المشروع الذي أنعش مجدداً **بنظرية** M – وتأتي M هنا من **غشاء** أو **سر** أو سحر حسب ما تشاء. إن وصف النظرية بالسر ملائم لأن البنية الرياضية لها تبقى محيّرة وغير مكتشفة. إن نظريات الأوتار الخمسة السابقة مثل خمس «زوايا» لنظرية M حيث يمكن إجراء الحسابات ولكن لم يتمكن أحد حتى الآن من وضع العلاقات التي تتحكم بنظرية M ناهيك عن حلها. وبالرغم من هذا

الغموض فقد ولّدت نظرية M حماسا شديداً. إن الاكتشافات حول البنية الرياضية للنظرية مدهشة وموحية بحيث أنها وصفت من قبل بعضهم بأنها ليست أقل من معجزة (تشير M إلى **معجزة** أيضاً). وتقدم هذه الأجزاء الرياضية لمحة مدهشة لنظرية لا زالت غير مستكشفة تتمتع بقوة وأناقة فائقتين قد تظهر على أنها مفتاح الكون.

وعلى الرغم من أن نظرية M تمثل بلا شك تقدماً إلا أنها تستخدم فروعاً من الرياضيات ليست مجردة جداً فقط وإنما هي غامضة جداً أيضاً. وفي الحقيقة، فقد توجب اختراع بعض الرياضيات أثناء اكتشافها. وتترك حقيقة كونها صعبة جداً معظم الفيزيائيين (وبينهم أنا بالتأكيد) بعيدين جداً في الخلف كما تترك منظري نظرية الأوتار/ M بدون وسيلة لاختبار الحقيقة. أين سينتهي هذا المشروع هو ما يخمنه كل شخص. ربما يكون منظرو نظرية الأوتار / M قد عثروا على كأس العلم المقدس. وهذا يعني أنهم قد يستطيعون يوماً ما إخبار بقية الناس كيف تعمل. أو ربما أنهم جميعاً بعيدون في أرض لا نهاية لها. إن الزمن وحده سيحكم في ذلك. لقد عبر ميشيو كاكو Michio Kaku وهو أحد منظري نظرية الأوتار عن قلقه في مقال حديث: «إذا كانت نظرية الأوتار نفسها خاطئة فإن ملايين الساعات وآلاف الأوراق ومئات المؤتمرات وعدداً من الكتب (بما فيهم كتابي) ستذهب سدى. وما أملنا منه أن يكون نظرية لكل شيء سيتحول إلى **نظرية للاشيء**»[10].

ومهما كانت محصلة هذا المشروع الضخم فإنه على الأقل يستحق الوصف على أنه «محاولة جميلة». ومن المبكر جداً بالتأكيد أن يهمل على أنه مجرد إشاعة أخرى لمنظرين لأنه حتى اليوم يقدم الأمل الأفضل لإنتاج نظرية موحدة نهائية. ولكن **ملاحظة** تجريبية واحدة تعادل ألف نظرية أصيلة. وبينما كان منظرو نظرية الأوتار يطورون بجد نماذجهم المجردة حقق الفلكيون سلسلة من الاكتشافات انفجرت كقنبلة وسط حقل الفيزياء النظرية ملقية بنظرية الأوتار وعلم الكون في حالة من الغليان.

نقاط رئيسة :

- تحاول نظريات كبيرة موحدة أن تجمع القوة القوية والضعيفة والكهرطيسية في مخطط واحد. ويتنبأ بعضها بأن البروتون سيتخافت بمتوسط حياة طويل جداً.
- لا يمكن أن يكون التناظر بين المادة ومضاد المادة كاملاً وإلا فسيكون الانفجار الكبير قد أنتج كميات متكافئة من الاثنين.
- يمكن توحيد البوزونات والفيرميونات ضمن مخطط رياضي واحد يدعى **التناظر الفائق**.
- يمكن توحيد الجسيمات والقوى جميعها بما في ذلك الثقالة بمعالجة كل الجسيمات على أنها مؤلفة من أوتار دقيقة جداً تتحرك في زمكان مؤلف من **عشرة أبعاد**. وتلتف الأبعاد الستة غير الملاحظة في شكل معقد.
- تقدم نظرية الأوتار والتطوير اللاحق عليها مثل نظرية M الأمل الأفضل لتوحيد الفيزياء الأساسية كلها ولكن النظرية تبقى غير مفهومة تماماً، ومن الصعب التحقق منها تجريبيا ً.

الفصل السادس

القوى المعتمة في الكون

المادة المعتمة

ظن الفلكيون لقرون عدة أنهم كانوا يدرسون «الكون» عندما حولوا أجهزتهم نحو المجرات والنجوم والكواكب والغاز والغبار. لكنّهم صدموا عندما وجدوا أن معظم الكون مصنوع من شيء آخر – لا يملكون عنه أدنى فكرة!

جاءت الإشارة الأولى بأن ما تراه في علم الكون ليس بالضرورة كل ما هناك منذ سبعين عاماً من العمل المتقن لفرتز زفيكي Fritz Zwicky وهو فيزيائي فلكي سويسري عمل في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا. علم زفيكي بأن الكون يتمدد بطريقة منتظمة. لكنه أدرك أن هذا الوصف الضئيل لابد أن يكون مبسّطاً. فالمجرات ليست أجساماً منعزلة: فهي تتجمع في تجمعات من عدة دزينات. وضمن هذه التجمعات تتحرك المجرات ولذا يفرض على تمدد الكون المنتظم تحركات محلية معقدة. وعلى سبيل المثال، تتحرك مجرة درب اللبان التابعة لنا ومجرة آندروميدا باتجاه بعضهما بعضاً بسرعة ١٣٠ كم في الثانية تقريباً، وهما في الوقت نفسه يشاركان في التمدد الكوني الشامل المكتشف من قبل هوبل. لقد كان زفيكي مهتماً بدراسة هذه **الحركات المحلية** ضمن التجمعات، واستطاع اختبارها بالقياس الدقيق لانزياح الضوء من كل مجرة نحو الأحمر.

كان ما وجده زفيكي غريباً حقاً. بدا أن معظم المجرات تتحرك بسرعة غير متوقعة. افترض زفيكي في البداية أن التجمعات تبقى مرتبطة بفضل ثقالة مادتها المرئية. وإذا كانت المجرة تتحرك بسرعة عالية جداً فإنها ستهرب من جذب جيرانها لها وتنفصل بالتالي عن المجموعة. ويمكن لتجمع من المجرات أن يبقى مرتبطاً بعضه ببعض لبلايين السنين ولكن فقط إذا احتوى مادة كافية لحصر كل أعضائه. حسب زفيكي الثقالة الناتجة عن المادة المرئية كلها – النجوم والغاز والغبار – ووجد أنها ***غير كافية*** مطلقاً لحصر المجرات سريعة الحركة ضمن تجمع. لم يكن هناك مفر من الاستنتاج: لابد أن هناك **مساهمة إضافية لجذب الثقالة**. وبإعطاء الأرقام وجد زفيكي أن الفرق ضخم جداً: فوزن المادة الجاذبة غير المرئية أكبر بكثير من المادة المرئية بمئات المرات، وهي تسيطر بشكل مطلق على كتل التجمعات. أصبحت هذه المادة غير المرئية وغير المعروفة تعرف **بالمادة المعتمة**. وبالرغم من أن نتائج زفيكي قد أهملت لمدة طويلة إلا أن الفلكيين جمعوا خلال العقود القليلة الماضية براهين لا تدحض على أن الجزء المضيء من المجرات هو الظاهر فقط وأن معظم المادة في الكون هي في الحقيقة **معتمة**.

يتضح وجود المادة المعتمة أيضاً من طريقة دوران النجوم حول مجرة درب اللبانة. فالشمس على سبيل المثال، تستغرق حوالي ٢٥٠ مليون سنة لتكمل دورة واحدة. وتأتي الإشارات على وجود المادة المعتمة من دراسة حركة النجوم على حدود المجرة. ومرة أخرى وجد أنها تتحرك بسرعة عالية جداً لكي تبقى مرتبطة بدرب اللبانة بفضل الثقالة وحدها ما لم يكن هناك الكثير من المادة المعتمة التي تجذبها. ولو كان الموجود هو النجوم فقط فسينطلق درب اللبانة بسرعة كعجلة منفجرة. مسح الفلكيون توزع الكتلة في مجرتنا والمجرات الأخرى من الطريقة التي تتحرك بها النجوم واستنتجوا أن البنية المعهودة على شكل قرص – بنواة على شكل نقطة وأذرع حلزونية تحيط بها – تقع وسط توزع كروي تقريباً للمادة المعتمة يمتد إلى أبعد بكثير

من حواف المنطقة المضيئة مشكلة سحابة واسعة أو هالة تمتد باستمرار نحو الفضاء بين المجرات.

أكملت هذه الدراسات المسحية بملاحظات أشعة اكس من الأقمار الصناعية وبالنتائج من القمر الصناعي WMAP. وتشير كل الفحوصات إلى النتيجة ذاتها: هناك **مادة معتمة في الكون أكثر بكثير من المادة المرئية.** ومن الواضح أن العلماء يودون معرفة ماهيتها وليس هناك بالتأكيد نقص في التفاسير. يقسم الفلكيون هذه التفاسير إلى صنفين عريضين: MACHOs وWIMPs.

MACHOs

تشير الكلمة MACHOs إلى «**مادة على شكل سحابة هائلة منضغطة**» – أي مادة مركزة موجودة في سحاب مجرة. ويتبادر إلى الذهن فوراً بعض أنواع الMACHOs . فالثقوب السوداء معتمة وتبقى غير مرئية إلا إذا وجدت نفسها بالقرب من نجوم أو غاز تبتلعها. وكذلك قد تكون النجوم القزمة أو الكواكب الضخمة معتمة جداً بحيث لا ترى في المناظير الفلكية ولكنها موجودة بكثرة. وهناك أيضاً أجسام أصغر كالكويكبات والمذنبات موجودة بلا شك بكثرة، ولكنها مخفية جداً خارج النظام الشمسي.

إن رؤية ال MACHO في الفضاء العميق صعب جداً لأسباب واضحة. ولم تعثر المناظير المباشرة التي تبحث عن نجوم حمراء صغيرة معتمة على عدد كبير منها. وقد جربت طريقة أخرى هي تصوير بالثقالة (انظر القسم السابق حول الفضاء الملتف). فلو وضع MACHO نفسه صدفة على امتداد خط النظر إلى نجم مباشرة فإنه سيفصح عن وجوده بتضخيم ضوء هذا النجم. ولذا فسوف يظهر ال MACHO المتجول نفسه على شكل زيادة أو نقصان في شدة ضوء النجم البعيد. لقد وجد الفلكيون عدداً من ال MACHO بهذه الطريقة ولكنهم مقتنعون الآن أنه لا يوجد منها عدد كاف في القرب يفسر المادة المعتمة كلها.

يمكن لعلماء الكون أن يحصلوا على دليل آخر على المادة المعتمة من منحى آخر من التفكير مختلف تماماً. وكما وصفت في الفصل الثالث، حولّت التفاعلات النووية - خلال الدقائق القليلة الأولى بعد الانفجار الكبير- الهيدروجين إلى هليوم. حدث هذا عندما اتّحدت البروتونات والنيوترونات في البلازما الأولية لتشكل أولاً الديوتوريوم (بروتون واحد ملتصق بنيوترون واحد) ومن ثم الهليوم باندماج تال لنواة الديوتوريوم. لكن كميات ضئيلة من الديوتوريوم لم تتحول إلى الهليوم وبالتالي بقيت على حالها. تعتمد كمية الديوتوريوم الأولي المتبقية بشكل هام على كثافة الكون عند حدوث هذه التفاعلات. وللديوتيريوم نواة مرتبطة بشكل ضعيف إلى حد ما ويمكن تحطيمها بسهولة بصدمها بالبروتونات. ويؤدي وجود كون بكثافة عالية إلى تصادمات أكثر بين النوى وبالتالي إلى إنقاص توفر الديوتيريوم في المزيج النهائي. وبالمقابل يترك كون منخفض الكثافة جزءاً أكبر من الديوتيريوم غير المندمج. ولذا يمكن استخدام قياس توفر الديوتيريوم والعناصرالخفيفة الأخرى[1] لوضع رقم بالنسبة لكثافة المادة النووية في الكون الأولي، وبالتالي - بإجراء قياس بسيط – كثافة المادة العادية الموجودة الآن.

وبحسب أفضل التقديرات لتوفر الديوتيريوم كان للكون الأولي كثافة منخفضة نسبياً من المادة النووية. وفي الحقيقة **مجرد بضعة بالمئة** من المادة المعتمة على شكل ذرات عادية أو عناصرها. ولذا فإن هذا ينفي MACHOs كتفسير لوجود المادة المعتمة إذا كانت مصنوعة من مادة عادية – أي إلكترونات وبروتونات ونيوترونات. ويمكن أن يكون بعض ال MACHOs مصنوعاً من نوع غير معروف من المادة – مادة غير نووية – لم تشارك في إنتاج الديوتيريوم أو الهليوم. ولكن لو دخلنا أرض الجسيمات الافتراضية فسيكون المنظرون منتظرين بشوق وبقائمة طويلة. وسيكون معظم هذه غير جيدة بالنسبة للMACHOs لأنها ستكون من نوع ال WIMPs.

WIMPs

تدل ال WIMPs على «***جسيم ضخم يتفاعل بضعف***». وقد صادفنا مسبقاً جسيماً يتفاعل بضعف وهو مرشح محتمل للمادة المعتمة – النيوترينو. فالنيوترينوات ليست معتمة بقدر ما هي في السواد ولكنها معتمة لأنها ***غير مرئية*** حيث تمر خلال المادة العادية غالباً دون أن تكشف عن وجودها. والنيوترينوات متوفرة بكثرة في الكون ويتجاوز عددها بكثير عدد الجسيمات النووية. ولكنها مع ذلك لا تزن كثيراً وربما مجرد واحد على مليون من الإلكترون. ولذا على الرغم من ميزة تفوقها عددياً بمليون إلى واحد فلن تكون كافية لوحدها كي يزيد وزنها عن وزن النجوم. وبالتالي تأتي أهمية M في ال WIMP: ***فالضخامة*** هو ما نحتاجه – شيء مثل النيوترينو ربما ولكن بكتلة البروتون أو أكبر[٢]. وبتلك الطريقة يمكن لها أن تسيطر على تأثيرات الثقالة للمادة العادية بدون أن نلحظها. ومثل النيوترينوات يمكن لل WIMPs أن تمر خلال أجسامنا بأعداد كبيرة طيلة الوقت دون أن نشعر بها حقاً.

وهناك عدد كبير من الجسيمات ***النظرية*** التي تلائم القائمة – الجسيمات فائقة التناظر مثل الفوتينو. وهناك في الحقيقة عدد كبير من الجسيمات المتنافسة مما يترك المجربين حائرين في الاختيار. إن المشكلة الرئيسة في محاولة اكتشاف ال WIMPs هي أنها بالتعريف تتفاعل بضعف شديد مع المادة العادية. وتقترح التفاعلات أنه من النادر جداً أن توقف نواة ذرة ال WIMPوأن تترك بعض الطاقة. ويبرز التحدي في اكتشاف التضخم الضئيل الناتج وترشيح الإشارة من الضوضاء الخلفية. كانت إحدى الطرق التي جربت هي استخدام بلورة ضخمة نقية من الجرمانيوم ككاشف والبحث عن تأثيرات نواة مرتدة إما من اضطرابها الصوتي أو الكهربائي (في الحالة الأولى يصغي المجربون لهذا التضخم). وضعت البلورة عميقاً تحت الأرض لترشيح الأشعة الكونية التي تتفاعل بقوة أكبر بكثير والتي يمكن أن تطغى على إشارة ا WIMPS . ويعتقد الفلكيون الذين مسحوا توزع المادة المعتمة

تميل إلى التركز قرب مراكز المجرات. ويتصورون حساءً سميكاً غير مرئي من الWIMPs تسبح خلاله الأرض والشمس في رحلتهما الطويلة حول درب اللبّانة. وإذا كان الأمر كذلك فلن تضرب ال WIMPs الأرض بشكل متساو من الجهات كلها، لكنها يجب أن تأتي نحونا من التجمع فيرغو virgo الذي يتجه نحوه النظام الشمسي الآن بسرعة ٣٠٠ كم في الثانية.

تلعب المادة المعتمة دوراً رئيساً في تشكيل الكون بتقديمها معظم الجذب الثقالي اللازم لنمو المجرات. كان الكون عند ٣٨٠٠٠٠ سنة كما ظهر من ال WMAP ناعماً جداً وقد ظهر البنيان الضخم لأن المناطق الأكثف قليلاً كانت قادرة على سحب مادة محيطة بها وبالتالي تضخيم كثافتها. وإذا كان الأمر يتعلق بالمادة العادية لوحدها فستكون هذه العملية ضعيفة جداً، لتستطيع خلق المجرات والنجوم والكواكب ...الخ والتي كانت الحياة بدونها مستحيلة. لكن المادة المعتمة ساعدت عملية التجميع كثيراً. ولمعرفة كيف تم ذلك قارن علماء الكون بين البنية الضخمة للنماذج مع النتائج من تمثيلات حاسوبية معقدة تنمذج عناصر مختلفة من المادة المعتمة[٣].

وعلى الرغم من أنه ليس لدى علماء الكون سوى دلائل قليلة حول طبيعة المادة المعتمة إلا أنه يمكنهم على الأقل إعطاء رقم دقيق حول كميتها الكلية. وتشير نتائج ال WMAP مع النتائج من مسوحات التلسكوبات والبيانات الأخرى أن المادة العادية (البروتونات والنيوترونات والإلكترونات والذرات والجزيئات) تشكل حوالي ٤% فقط من الكتلة الكلية للكون (ومن هذا الرقم فإن حوالي النصف فقط على شكل نجوم وكواكب). ولذا فإن ٩٦% من الكون مؤلف من مادة معتمة غامضة. وهذا شيء هام بحد ذاته. ولكن هناك مفاجأة أخرى. فأقل من ثلث ال ٩٦% يمكن أن يتألف من عناصر المادة المعتمة التي شرحتها سابقاً. إن ما يشكل بقية المادة المعتمة – ثلثي كتلة الكون على الأقل – شيء أكثر غموضاً بكثير.

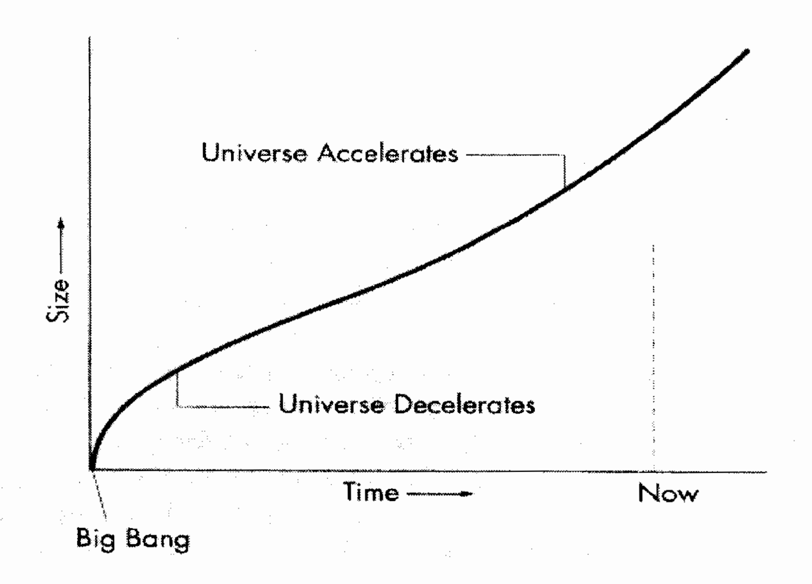
الطاقة المعتمة

في منتصف التسعينات أدهشت مجموعتان من الفلكيين المجتمع العلمي بتصريحهما بأن معدل تمدد الكون يتسارع كما أظهرت ملاحظات المستعرات العظمى في المجرات البعيدة. ويعني هذا أن الكون يتمدد الآن أسرع من قبل ويبدو أنه مقدم على الانفلات السريع إذا استمر هذا الميل. لقد هزّ هذا الاكتشاف أسس النظرية الكونية التي بنيت على اعتقاد راسخ بأن الثقالة تكبح التمدد وتبطئه من بدايته المتفجرة عند الانفجار الكبيرإلى المعدل المتوسط نسبياً الذي نلاحظه الآن. لقد تغيرت قواعد اللعبة الآن. فهناك قوة غامضة مضادة للثقالة تعاكسها وقد نجحت في تحويل الإبطاء إلى تسارع.

رأينا في الفصل الثالث كيف أن التضخم – وهو تسارع هائل في معدل التمدد خلال الكون الأولي جداً – كان مدفوعاً بنبضة مضاد ثقالة تشكلت من الضغط السالب «**لحقل تضخم**» نظري. ويبدو الآن أن الكون (على الأقل الجزء الملاحظ منه) بدأ بالتضخم مرة أخرى ولكن بمعدل بطيء نسبياً وهو أبطأ ب ٥٠ للقوة عشرة من السرعة التي سار عليها في بداية تشكله. ما الذي يحدث إذن؟

اقترح آينشتاين عام ١٩١٧ تنافراً كونياً أو قوة مضادة للثقالة كوسيلة لتوليد كون ساكن (انظر الصندوق ٣). وقد تخلى عنهما عندما وجد أن الكون في الحقيقة يتمدد. حسناً ربما كان على حق طيلة الوقت. لكن الكون بالتأكيد ليس ساكناً ولكن يبدو كما لو أن مضاد الثقالة موجود هناك على أية حال. وإذا كان التفسير الصحيح يقع ضمن نظرية آينشتاين لعام ١٩١٧ فلن يبدو تمدد الكون على الصورة التقليدية الموضحة في الشكل ١٢. وبدلاً من ذلك فسيشبه التمدد المبين في الشكل ١٩. وهنا يبقى الكون ناتجاً عن انفجار كبير. في المراحل المبكرة ليس لمضاد الثقالة تأثير كبير لأن الكون مضغوط جداً ولأن قوة التنافر التي اقترحها آينشتاين ضعيفة بالنسبة لمسافات صغيرة. ولكن مع استمرار الكون في التمدد ينمو مضاد الثقالة في القوة حتى يصل إلى مرحلة – بمقياس الكون ككل – ينافس عندها قوة الجذب العادية للثقالة.

ويتلو ذلك صراع هائل بحيث تتوازن هذه القوى الهائلة: ويمضي الكون لفترة بالتمدد بمعدل ثابت تقريباً. لكن مضاد الثقالة ينتصر في النهاية لأنه يزداد في القوة مع تمدد الكون. وعندما يسيطر مضاد الثقالة يبدأ معدل التمدد بالتسارع طيلة الوقت حتى يقترب في النهاية من تمدد « أسّي»، يتضاعف فيه حجم أية منطقة معينة من الكون كل بضعة بلايين من السنين.

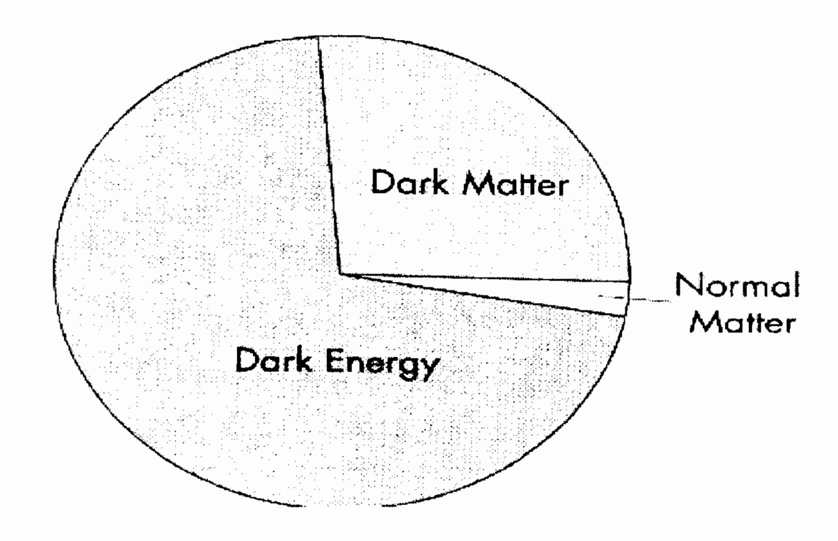


الشكل ١٩: الكون المنفلت

يعتقد الفلكيون أن تمدد الكون يتسارع تحت تاثير قوة مضادة للثقالة. ويظهر المنحني أفضل تخمين لتطور الكون بدءاً من الانفجار الكبير الذي تتبعه بضعة بلايين السنين من التمدد المتباطئ بما يشبه التصرف الموضح في الشكل ١٢. ولكن معدل التمدد يزداد بعدها مع سيطرة قوى معتمة غامضة على الكون.

من المبكر جداً الادّعاء بأن القوة التي تسبب تسارع الكون هي مضاد الثقالة الأصلية لآينشتاين، على الرغم من أن هذا بالتأكيد أبسط تفسير لذلك. قدمت اقتراحات أخرى مثل حقول تتغير فيها شدة القوة مع الزمن. وكما شرحت مسبقاً يمكن اعتبارمضاد الثقالة نتيجة للطاقة – والضغط السالب

المرافق له – للفضاء الفارغ نفسه. وبشكل آخر يمكن أن نعزو الطاقة والضغط السالب إلى حقل غير مرئي يتخلل الفضاء. وفي الحالتين لا نرى أي شيء منه ولذا يستخدم المصطلح العام **الطاقة المعتمة** ليشير إلى هذه الاحتمالات كلها. ويصمّم الفلكيون حالياً قياسات أفضل لاكتشاف المزيد. ومهما كان الأمر فإذا أضفت الطاقة المعتمة المسؤولة عن تسارع الكون ستجد أنها تمثل حقاً كتلة كلية أكبر من المادة – المرئية والمعتمة – مجتمعتين (انظر الشكل ٢٠). يبدو أن الطاقة المعتمة تشكل معظم مادة الكون ومع ذلك لا يعرف أحد ما هي.



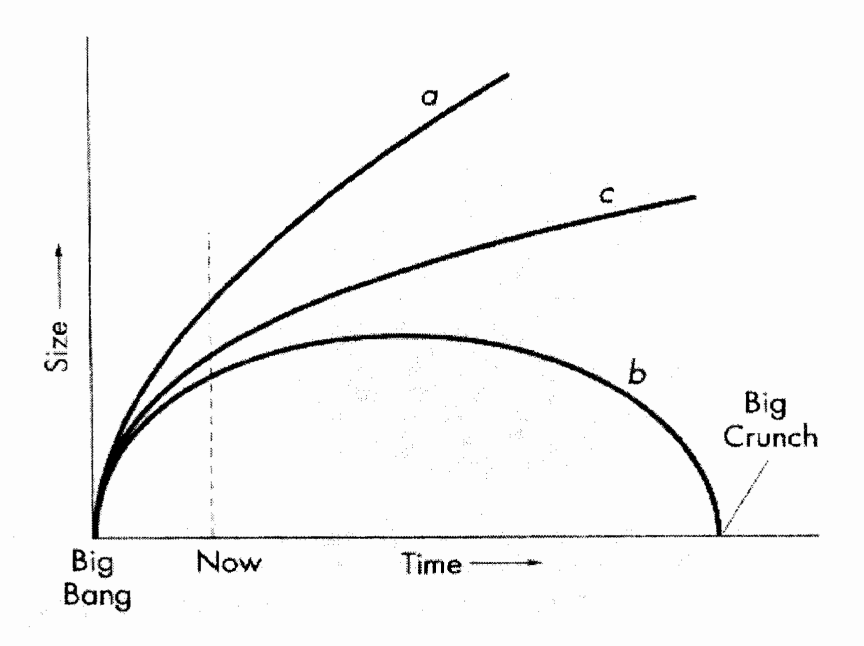
الشكل ٢٠: إضافة كونية؟

من المدهش أن المادة المعروفة كالذرات تشكل حوالي ٤% من كتلة الكون – تقريباً كإضافة. ويكون حوالي ٢٢% على شكل نوع آخر من المادة لم يحدد بعد، بينما يكون ٧٤% على شكل طاقة معتمة تجتاح الكون بكامله.

نهاية الكون

إن لطبيعة الطاقة المعتمة بالتأكيد نتائج هامة ليس أقلها اعتماد المصير النهائي للكون عليها. كانت القضية المستعصية بالنسبة لعلماء الكون هي فيما إذا كان الكون سيستمر في التمدد للأبد، أو أن معدل تمدده سيتباطأ إلى مرحلة يبدأ بعدها بالانكماش. وتسمح نظرية النسبية العامة لآينشتاين بحدوث الاحتمالين حسب كمية المادة التي يحتويها الكون. وبترك الطاقة المعتمة للحظة، فمن المعروف منذ عمل الكسندر فريدمان في أوائل العشرينات أن هناك ثلاثة سيناريوهات متمايزة. فهناك أولاً الكون ذو الكثافة المنخفضة. وهنا تكون قوة الانفجار في الانفجار الكبير كافية لتتغلب المادة الكونية على جاذبيتها ولكي يتابع الكون تمدده. ويتباطأ معدل التمدد نتيجة تأثير الكابح لكن الإبطاء يتناقص مع الوقت بحيث يتمدد الكون في النهاية بمعدل ثابت تقريباً. ويمثل هذا بالمنحني a في الشكل ٢١.

والاحتمال الثاني الموضح بالمنحني b في الشكل ٢١ هو لكون مرتفع الكثافة. فهو يحتوي كمية أكثر من المادة مما يؤدي إلى جذب وتأثير كابح أقوى. ويتباطأ التمدد بالتدريج حتى يتوقف تماماً وبعدها يبدأ الكون بالتقلص وينهار على نفسه. ويتسارع معدل التقلص حتى يتحول إلى انهيار يعرف عموماً «بالانهيار الكبير». ويقع الاحتمال الثالث أو المنحني c على الحد الفاصل بين الاثنين السابقين. وهنا يتناقص معدل التمدد باستمرار ولكن ليس إلى الحد الذي يقف عنده نهائياً. وتربط النسبية العامة الحالات الثلاثة بهندسة الكون. ففي b يحني حقل الثقالة المرتفع للمادة الكثيفة الكون ليكون على شكل كرة متضخمة. وفي a ينحني الفضاء سلباً وهو مفتوح ولا متناه. وفي c يكون الفضاء مستوياً ولا متناهياً.



الشكل ٢١: مصير الكون

ثلاث نماذج مختلفة للكون، بحسب ألكسندر فريدمان. إما أن يتمدد الكون للأبد بمعدل ثابت a أو ينهار إلى مضغة كبيرة b أو يكون على الحدود الفاصلة بينهما c. في الحالة a ينحني المكان سلباً (انظر الشكل ١٠). وفي b ينحني إيجاباً (انظر الشكل ٨). وفي c يكون مستوياً.

تصبح الخيارات الثلاثة البسيطة a و b و c أكثر تعقيداً إذا أدخلت الطاقة المعتمة. وكما ذكرت مسبقاً فإن تصرف الكون في المراحل الأولى لا يتأثر إلا قليلاً بمضاد ثقالة الطاقة المعتمة، ولكنه يمكن أن يكون في النهاية حاسماً. إذا كان للكون كثافة (كتلة- طاقة) كلية حرجة (بما في ذلك الطاقة المعتمة) فسيكون الفضاء منبسطاً ويتصرف الكون كما هو موضح في الشكل (١٩). وهذا هو النموذج الذي يعطي أفضل تطابق مع البيانات. ويبدو المستقبل البعيد للكون عندها مظلماً. ويحوّل التمدد المتسارع الكون إلى نوع من ثقب أسود مقلوب. لقد شرحت في الفصل الثاني كيف أن السرعة

المحدودة للضوء تؤدي إلى وجود أفق في الفضاء، لا يمكن لنا أن نرى أبعد منه مهما بلغت قوة أجهزتنا. ويخلق التمدد المتسارع نوعاً آخر من الأفق يدعى ***أفقاً حادثاً***، مشابهاً لسطح الثقب الأسود. تصور إصدار نبضة ضوء من الأرض موجهة نحو مجرة بعيدة متراجعة. فمع مطاردة الضوء للمجرة فإنها تبتعد أكثر. إذا كان معدل التمدد ثابتاً فستصل نبضة الضوء إلى المجرة في النهاية. ولكن إذا كان معدل التمدد متسارعاً، فقد لا يصل الضوء إلى المجرة أبداً: فكلما زادت السرعة لسد الهوة الفاصلة اتسعت هذه أكثر. وبالمثل، فالضوء الصادر من المجرة البعيدة نحو الأرض- في الحقبة الكونية نفسها - قد لا يصل إلينا أبداً مهما طال انتظارنا. وفي تلك الحالة فإن المنطقة من الفضاء التي تقع فيها المجرة المتراجعة (وكل المناطق الأبعد منها)، ستكون غير مرئية بالنسبة لنا - للأبد. وفي كون متسارع تبتعد المجرات عن بعضها بعضاً أسرع فأسرع، وفي النهاية ستختفي تماماً عبر آفاق المجرات الأخرى. وسيستغرق الوقت عدة بلايين السنين ليختفي معظم المجرات التي نراها اليوم، ولكن إذا تصرف الكون حقاً كما في الشكل ١٩ فسيحدث هذا في وقت ما أثناء ذلك. وبحلول ذلك الوقت ستندمج المجرات القريبة (على سبيل المثال اندروميدا) والتي هي مرتبطة بدرب اللبانة بالثقالة في مجرة فائقة مليئة بثقوب سوداء هائلة وبنجوم منطفئة. وسيكون باقي الكون المرئي (لا يزال بعرض عدة بلايين من السنين الضوئية) فارغاً تقريباً. وفي النهاية ستتبخر حتى الثقوب السوداء الضخمة بعيداً متحولة إلى إشعاعات حرارية، وستختفي بعد ذلك عبر الأفق مع كل شيء آخر.

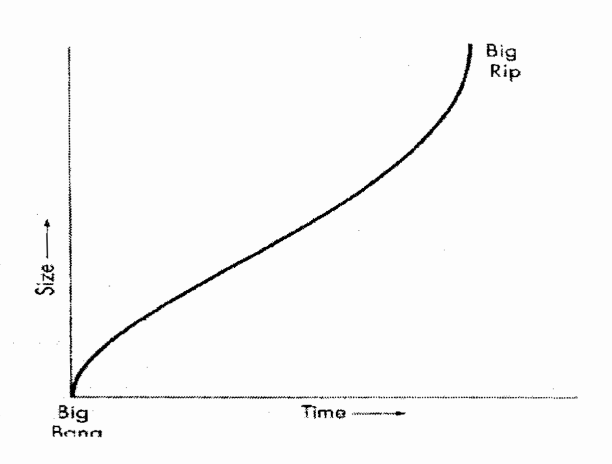
التمزق الكبير

لا يستنفد التمدد اللانهائي في مقابل الانهيار إلى مضغة كبيرة الاحتمالات كلها: فهناك طريقة ثالثة ينتهي بها الكون. افترضت حتى الآن أن الطاقة المعتمة ثابتة بالنسبة للزمان والمكان كما في نظرية آينشتاين الأصلية. ولكن بما أن طبيعة الطاقة المعتمة ما زالت سراً فقد لا يكون هذا الافتراض

صحيحاً. إذا خلقت الطاقة المعتمة من نوع جديد من حقل مادة (يشار إليه أحياناً بالجوهر quintessence)، فمن المحتمل جداً عندها أن يتغير الحقل بالنسبة للزمان والمكان، وأن يتفاعل حتى مع المادة معطياً احتمالات أكثر. وعلى سبيل المثال، يمكن أن يكون هناك انتقال كمومي مفاجئ إلى قيمة أخفض من الطاقة المعتمة مولداً فقاعة من الفراغ يمكنها أن تتمدد بسرعة الضوء تقريباً وتغلّف الكون الملاحظ. لقد جعل ستيفان باكستر Stephen Baxter هذا السيناريو المخيف موضوعاً لروايته في قصة الخيال العلمي الزمان[٤]. وبصورة أخرى، قد تتغير الطاقة المعتمة ببطء شديد مسببة خفض طاقتها تدريجياً خلال بلايين السنين. وفي النهاية قد تصبح سالبة (عندما تبدأ بالتصرف كثقالة بدلاً من مضاد الثقالة). وإذا حدث ذلك فسيتباطأ التمدد المتسارع ثم يتحول ليصبح انهياراً متسارعاً – وسينتج عن هذا مضغة كبيرة.

وهناك مصير مختلف أكثر مأساوية إذا ازدادت قيمة الطاقة المعتمة مع تمدد الكون. عندها سيزداد معدل التسارع مع الزمن أيضاً مؤدياً إلى تمدد أسي فائق. وسيتقلص أفق الحادث مما سيؤدي إلى إنقاص حجم الفضاء ضمن الكون الملاحظ. وستبدأ قوة مضاد الثقالة والتي هي الآن صغيرة في النظام الشمسي أو بحسب أبعاد المجرات لتصبح هامة على مقاييس أصغر فأصغر حجماً. وفي النهاية سيأتي الوقت الذي تتمزق فيه مجرتنا. وستستمر قوة مضاد الثقالة في الزيادة ممزقة تجمع النجوم ثم النجوم المنفردة وكاسحة الثقالة التي تربطها بعضها ببعض. وفي المراحل الأخيرة حتى الأرض نفسها ستتفكك. وبعد لحظات ستنفجر ذرات الكون نفسها. وسيأتي الفصل الأخير من هذه المأساة عندما يصبح معدل التمدد لامتناهياً (انظر الشكل ٢٢). وتمثل مثل هذه الحالة **منفردة** زمكانية – نهاية الزمان والمكان – مثل الانهيار إلى مضغة كبيرة، ولكن بالاتجاه المعاكس لأنه تمدد هائل بدلاً من انهيار. لقد اكتشفت مع جون بارو John Barrow هذا المصير البغيض للكون في الثمانينات ولكننا لم نأخذه كثيراً على محمل الجد، لأنه بني على نموذج

رياضي مصطنع[٥]. لكن الفكرة الرئيسة نفسها أعيد اكتشافها من قبل روبرت كالدويل Robert Caldwell من كلية دارتموث في نيو هامبشاير منذ سنوات قليلة، وأعطيت الاسم المثير «**التمزق الكبير**»[٦]. ولا تزال هذه الصورة طريقة غير محتملة لنهاية الكون ولكن النظرية ربما لم تعد تخمينية كما كانت عندما لعبت بها مع بارو لأول مرة.



الشكل ٢٢: التمزق الكبير

طريقة أخرى يمكن أن ينتهي بها الكون هي بالتمدد بسرعة أكبر وأكبر حتى يصبح معدل التسارع لانهائياً كما هو موضح في الشكل. ولا يستمر المنحني بعد نقطة معدل التمدد اللانهائي لأنها منفردة زمكان.

هل يمكن للحياة أن تستمر للأبد؟

مهما كان شكل النموذج الأقرب للحقيقة إلا أنه ما زال لدينا وقت كبير قبل الوصول إلى هر مجدون. فلا شيء مما اكتشفه الفلكيون وعلماء الكون يدفعهم للاعتقاد أن نهاية الكون حسب أي من هذه السيناريوهات سيبدأ قبل بلايين البلايين من السنين. ولكن قبل أن يحدث أي شيء غير سار على مقياس كبير بوقت طويل، ستكون شمسنا قد استهلكت زمن خدمتها. ومن

المحتمل أنها بعد أكثر من بليون سنة بقليل من الآن ستصبح حارة بشكل غير مريح، وستواجه الأرض أزمة ملاءمتها للحياة. ولكن لو أخذ المرء فكرة غير مقيدة حول مستقبل الحياة، فهناك وقت وفير لأجيالنا أو لأية مخلوقات اصطناعية قد نخلقها – أو لأي كائنات في أنظمة نجمية أخرى تواجه المصير نفسه – أن تنتقل إلى أنظمة نجمية أخرى وأن تستمر في ذلك حتى ينفد تزود النجوم الجديدة بالمادة الخام. وحتى لو انطفأت النجوم كلها فسيبقى هناك مخزون أكبر من الطاقة في حقول الثقالة، وعلى الأخص تلك من الثقوب السوداء لتسمح لحياة من نوع ما بالاستمرار.

ولكن هل يمكن للحياة أن تستمر حرفياً ***للأبد*** (بافتراض أن الكون لن ينهار إلى مضغة كبيرة أو ينفجربتمزق كبير)؟ هل يستطيع أحفادنا بطريقة ما أن يكوّنوا وجوداً لهم للأبد؟ بحسب ورقة لفريمان دايسون Freeman Dyson نشرت في السبعينات[٧] كانت الفكرة الرائجة هي أنه بإمكان الحياة أن تبقى دوماً في موقع ما من كون يتمدد باستمرار. لكن هذا الاستنتاج عدل مؤخراً على ضوء اكتشاف الطاقة المعتمة. وإذا كان الكون سينتهي بحسب ما يقترحه ذلك الاكتشاف على شكل فضاء فارغ ضمن أفق حادث فيبدو من غير المحتمل أن يستمر أي شكل من الحياة، أو حتى أية معالجة منهجية للمعلومات لأن الحالة النهائية هي نوع من التوازن الثرموديناميكي، يشبه موت الكون الحراري الأصلي الذي نوقش في القرن التاسع عشر (انظر الصندوق ٥). ولذا فبطريقة أو بأخرى، يبدو أنه من غير الممكن أن تستمر الحياة للأبد في هذا الكون[٨].

لقد ناقشت في هذا الفصل النظريات المختلفة حول ماهية الطاقة المعتمة، ولكنني لم أقل شيئاً عما يحدد مقدارها الكلي. لقد التقط آينشتاين ببساطة قيمة مأخوذة من ملاحظات فلكية تمكّن علاقاته من وصف كون ساكن: فالنسبية العامة لا تقدم أي دليل على مقدار هذا الرقم. ولذا بقيت قيمة قوة مضاد الثقالة لعقود خلت غير محددة، وفضل معظم علماء الكون أن

يعطوها الرقم صفر. ولكن إذا كانت الطاقة المعتمة ناتجة عن عملية فيزيائية مثل طاقة فراغ كمومية أو جوهرية، يمكن للمنظرين أن يحاولوا حساب كمية الطاقة المعتمة في حجم نموذجي من الفضاء. وكما سنرى في الفصل اللاحق عندما تجرى هذه الحسابات، فستكون النتيجة مزعجة لدرجة أنها تشير إلى ما لا يقل عن أزمة في صميم الفيزياء النظرية، وإلى الحاجة لأكبرعملية تلفيق على الإطلاق.

النقاط الرئيسة :

- يتكون معظم الكون من شيء لا زال غير محدد. وتؤلف المادة العادية بضعة بالمائة فقط منه.
- ربما صنعت المادة المعتمة من جسيمات ثقيلة تتفاعل بضعف قذفت بغزارة من الانفجار الكبير.
- يبدو أن معظم الكتلة في الكون هي على شكل «طاقة معتمة» – صدمة كبيرة! فالطاقة المعتمة (يجب عدم الخلط بينها وبين المادة المعتمة) تنافرية بالثقالة، مما يجعل الكون يتمدد أســرع فأسرع. ولا أحد يعرف ما هي. وقد تكون مجرد طاقة الفضاء الفارغ (اقترح آينشتاين ذلك عام ١٩١٧) أو قد تكون حقلاً جديداً غامضاً.
- إذا بقيت الطاقة المعتمة ثابتة، فسيصبح الكون في النهاية معتماً وفارغاً وسيتمدد بمعدل أسي. وإذا تناقصت لتصبح في النهاية سالبة، فسينهار الكون إلى مضغة كبيرة. وإذا تضخمت فسينتهي الكون بتمزق كبير.
- من الصعب أن تبقى الحياة معلقة هناك للأبد. **آمين.**

الفصل السابع

كون ملائم للحياة

دور المراقبين

كان نشر كتاب نيكولاس كوبرنيكوس De revolutionibus orbium coelestium بعد وفاته عام ١٥٤٣م علامة فارقة في تاريخ العلم بل ربما شكّل مولد العلم نفسه. لقد وضح الفلكي البولوني في كراسته نموذجه عن النظام الشمسي حيث تكون الشمس في المركز بينما تدور الأرض وجميع الكواكب الأخرى حولها: «أخيراً سنضع الشمس نفسها في مركز الكون. يؤيد هذا كله التتابع المنتظم للحوادث وتناغم الكون بأكمله فقط لو واجهنا الحقائق» بعينين مفتوحتين « كما يقولون»[1].

هزّت النظرة الجديدة للكون التي دافع عنها كوبرنيكوس وهي أن الأرض تدور حول الشمس العالم الغربي بحيث انتهى الأمرإلى تبني إطلاق كلمة ***ثورة*** عليها بالمعنى السياسي الواسع والاجتماعي أيضاً. كانت أوروبا في القرن السادس عشر مقيّدة بالكنيسة الكاثوليكية التي تشبّثت بنظرية بطليموس القديمة وهي أن الأرض تقع في مركز الكون وبنتيجتها الطبيعية وهي أن البشرية تمثّل قمة الخلق الإلهي. وبتخفيض رتبة كوكبنا من الموقع المركزي للكون، أطلق كوبرنيكوس نزعة – مبدأ الاعتيادية principle of mediocrity – التي استمرت لأربعة قرون. وعندما وجّه غاليلو المنظار

المخترع حديثاً نحو السماء عام ١٦٠٩م لاحظ أن درب اللبانة يتألف من تجمع ضخم من النجوم الباهتة. ثم بدأ الفلكيون تدريجياً يدركون أن الشمس هي مجرد نجم عادي بين العديد من النجوم. ونعلم اليوم أن مجرة درب اللبّانة تحتوي على أكثر من مائة بليون نجم يشبه العديد منها الشمس. واستطاعت المناظر الضخمة في القرن العشرين أن ترصد نجوماً في مجرة آندروما دا وما بعدها مظهرة أن درب اللبانة نفسه لا يحتل موقعاً مميزاً في الكون. لقد أسست المسوحات المنتظمة للمجرات المبدأ الكوني الذي ينطلق من مبدأ تجانس الكون على مقياس واسع.

لا تستطيع أية محاولة لتفسير الكون أن تدّعي النجاح إلا أذا أخذت هذا التسلسل «الاعتيادي» بعين الاعتبار. وكما رأينا يقدم سيناريو الكون المتضخم تفسيراً طبيعياً للتجانس الكوني على المقياس الواسع. وتفسر نظرية تشكل المجرات من شذوذات أولية غموض أنظمة مثل نظام درب اللبانة بينما تصف نظرية تشكل النجوم والكواكب من سحب من الغاز والغبار نظامنا الشمسي. لكن التجانس والاعتيادية ليستا الخاصتين الوحيدتين للكون اللتين يجب تفسيرهما. هناك خاصة غالباً ما تترك من قائمة الخصائص الملاحظة وهي حقيقة وجود **مراقبين** يراقبون هذه الخصائص.

إن دور «المراقب» في العلم متميز ومقلق بعض الشيء للعديد من العلماء. إذ أن مهمة العلم بعد كل هذا هي استبدال النظرة الشخصية للطبيعة بنظرة موضوعية. ولا يؤخذ الإدعاء العلمي بجدية إلا إذا أمكن اختباره من قبل آخرين بطريقة عادية (ليس بدون اهتمام). وإذا أكّدت أن الأرض تدور حول الشمس لأنها تقاد بمركبة فضائية ضخمة ***لا يراها أحد غيري*** فلن يصدقني أحد – وهذا هو الأمر الصحيح. إن نظرية النسبية العامة لآينشتاين تجعل من ***الموضوعية*** محوراً رئيساً. إن مجرد كلمة ***نسبية*** توحي بأن النظرة إلى العالم هي دوماً نظرة **مراقب ما** وتقدم النظرية قواعد التحويل اللازمة لتوفق بين تجارب مراقب وتجارب مراقب آخر. وبهذه الطريقة يمكن

استخلاص «المحتوى الموضوعي» للطبيعة من الخبرات المحددة لأفراد مراقبين. لقد وضع آينشتاين معتقداً رئيساً في نظرية النسبية العامة وهو أن قوانين الفيزياء يجب أن ***تظل نفسها بالنسبة للمراقبين كلهم*** مهما كانت طبيعة حركتهم و بغض النظر عن مكان وجودهم. فليست هناك أفضلية لأي مراقب. ولهذا السبب على سبيل المثال لا تقدم قوانين الفيزياء أية إشارة إلى سرعة شيء ما خلال الفضاء. ولو فعلت ذلك فإنها ستميّز نوعاً محدداً من المراقبين عن غيرهم – المراقبين الثابتين – الذين اختبروا العالم بطريقة مختلفة.

وبأخذ هذا التاريخ بعين الاعتبار فليس من المستغرب أن لا يكون تفسير وجود المراقبين شرطاً أساسياً لنظرية ناجحة عن الكون لدى علماء الكون. ولكن المزيد والمزيد منهم مقتنعون الآن أن هذا نقص خطير. خذ موقعنا في الكون – ما نموذجيته؟ حسناً هناك إحساس واضح بأنه غير نموذجي إلى حد كبير. إن معظم الكون فضاء فارغ تقريباً ولكن البشر يعيشون على سطح كوكب ما. وهناك سبب وجيه لذلك. فمن المستبعد أن تظهر **حياة** في الفضاء الخارجي وحتى لو حصل ذلك فلن تكون الكائنات بعقل كبير ناجحة جداً هناك. ويجد المراقبون من البشر أنفسهم يعيشون على ظهر كوكب لأنه من الصعب أن يكونوا قد نشؤوا في أي مكان آخر.

إن هذا المثال البسيط مؤشر على اعتبارات أهم. فالمراقبون – على الأقل ضمن حدود خبرتنا إلى الآن – كائنات حية والحياة ظاهرة معقدة وهشة لها متطلبات كثيرة. وهي تظهر في الكون **فقط** عندما تكون الظروف ملائمة لذلك. وإذا كانت هذه الظروف غير عامة فإن نظرتنا للكون لن تكون نموذجية: فهي ستعكس وضعنا في منطقة محلية خاصة ملائمة للحياة في هذا الكون.

لن يدهش هذا الحشو البسيط أحداً. إنه يقول بكل بساطة إن المراقبين سيجدون أنفسهم ***فقط*** في مكان يمكن أن تتواجد فيه الحياة. ومن الصعب أن يكون الأمر غير ذلك. ومع ذلك فبالرغم من طبيعة هذه المقولة غير القابلة للنقاش فلا يجب استبعادها على أنها مجرد تلاعب بالكلمات. وفي البداية فإن

الظروف اللازمة للحياة يمكن أن تكون مقيدة جداً. وبالتأكيد فقد تكون الأرض كوكباً نموذجياً بالقرب من نجم نموذجي في مجرة نموذجية فيما يتعلق بظروفها الجيولوجية والفلكية. ولكنها يمكن أن تكون أيضاً غير نموذجية لدرجة كبيرة – وربما متفردة – من حيث ظروفها الحيوية. إذا كان هناك مكان واحد فقط يمكن للحياة أن تتشكل فيه فإنه سيكون الأرض لأننا نجد أنفسنا هناك. إن هذه النقطة على الرغم من وضوحها الجلي تعارض مباشرة مبدأ الاعتيادية وأصبحت تعرف بالمبدأ الإنساني Anthropic Principle[٢]. وهذا المصطلح عبارة عن اسم مغلوط غير ملائم لأن كلمة أنثروبي مشتقة من الجذر اليوناني رجل ولا أحد يقترح أن لهذا المبدأ علاقة بالبشر بحد ذاتهم (على الرغم من أن البشر هم بلا شك أحد أوجه الحياة). وصرّح الفيزيائي الفلكي البريطاني براندون كارتر[٣] الذي كان أول من استخدم الكلمة في هذا السياق مرة أنه لو علم بالمشكلة التي ستثيرها لاقترح كلمة أخرى – ربما مبدأ «حب الحياة biophilic ». ولكن يبدو أننا تقيّدنا بمصطلح ال «إنساني» ولذا فسأتابع استخدامه.

هل نحن لوحدنا في الكون؟

ما الذي يمكن أن يقال عن إمكانات وجود حياة خارج الأرض؟ على الرغم من التطور الكبير في موضوع الفلك الحيوي فلا يوجد إلى الآن دليل مباشر على وجود ***حياة*** في الفضاء الخارجي. وفي حال اكتشاف حياة في مكان ما من النظام الشمسي – على المريخ مثلاً – فإن التفسير الأكثر احتمالا هو أنها لم تنشأ هناك ولكنها انتقلت من الأرض ضمن صخور أطلقت من كوكبنا من جراء ارتطام المذنبات والشهب بها. إننا نعلم أن المريخ والأرض يتبادلان الصخور ولذا يبدو من المحتمل جداً أن تكون الميكروبات قد ركّبت مرات عدة خلال تاريخ النظام الشمسي الذي يمتد على مدى ٤,٥ بليون سنة على هذه المذنبات[٤]. ولذا فإن العثور على الحياة في المريخ لا يعني أنها تشكلت هناك من لا شيء أكثر من مرة. ولإعطاء الاستنتاج الأقوى فمن

الضروري البرهان على أن الحياة على المريخ وعلى الأرض مختلفتان بما يكفي ليكون لهما أصلان مستقلان. إن السؤال فيما إذا كنا أو لم نكن الوحيدين في الكون يشكل أحد أعظم الأحاجي غير المحلولة في العلم. ويعتمد الجواب على ما إذا كان أصل الحياة صدفة كيميائية ضخمة حصلت ربما لمرة واحدة فقط في الكون الملاحظ أو أنها كانت النتيجة المتوقعة لقوانين ذاتية ملائمة للحياة تسهّل نشوءها كلما توفرت ظروف شبيهة بظروف الأرض. ولكل من وجهتي النظر من يؤيدها من العلماء المرموقين ولكن بغياب برهان قوي من المستحيل قبول أي منهما. وبالتأكيد فإن الشيء الذي صنعت منه الحياة منتشر في الكون. إن الحياة (على الأقل كما نعرفها) مبنية على عنصر *الكربون* وهو أحد أكثر العناصر انتشاراً. وتستخدم الحياة أيضاً الهيدروجين – وهو العنصر الأكثر انتشاراً من الجميع – إضافة إلى النتروجين والأكسجين والكبريت والفسفور وكلها شائعة بدرجة معقولة. إن بعض اللبنات الأساسية للحياة وهي جزيئات عضوية مثل الفورم الدهايد واليوريا موجودة في السحب بين النجوم. إن الماء – وهو متطلب آخر ضروري للحياة الأرضية – شائع جداً في النظام الشمسي وفي أنظمة النجوم الأخرى وفي سحب الغاز. ولذا تقترح البراهين المتراكمة أن المواد المشجعة للحياة – المواد العضوية والماء – موجودة خلال الكون. ومع ذلك فالطريق طويل بين لبنات بناء بسيطة و بين حتى أبسط الكائنات العضوية الحية. وبينما تشكل المواد العضوية والماء بالتأكيد مستلزمات ضرورية للحياة إلا أنها أقل من أن تكون كافية. وليس من الممكن الاستنتاج من شيوع لبنات بناء الحياة الأساسية فقط أن الحياة نفسها شائعة. ولكن حسب ما نعرفه حتى الآن فإن من الممكن أن تنشأ الحياة في أي مكان تقريباً في الكون الملاحظ. وإذا ظهر أن الحياة محصورة بكوكب الأرض فقط فمن الممكن أن يكون ذلك مجرد صدفة تاريخية وليس شيئاً غير عادي حول قابلية النظام الشمسي للحياة.

وللسماح بظهور الحياة في مكان واحد على الأقل في الكون يجب تلبية ثلاثة متطلبات رئيسة°:

١- يجب أن تسمح قوانين الفيزياء لبنى معقدة مستقرة بالتشكل.

٢- يجب أن يمتلك الكون نوع المواد التي تستخدمها الكائنات العضوية كالكربون مثلاً.

٣- يجب أن توجد الظروف الملائمة لتتفاعل العناصر المكوّنة للحياة بالشكل المطلوب.

وحتى هذه المتطلبات الثلاث تفرض قيوداً شديدة جداً على الفيزياء وعلم الكون وهي صارمة جداً بحيث أنها تصدم بعض العلماء على أنها ليست سوى تطبيق مدبر – «وظيفة مدبرة» بترديد مصطلح فريد هويل Fred Hoyle البراق. وسأعطي في هذا الفصل بعض الأمثلة[٦] على تلك «المصادفات الكونية» المثيرة بادئاً بتلك التي أدهشت هويل كثيراً.

أصل العناصر الكيميائية

ميّز الكيميائيون أكثر من مائة عنصر كيميائي مرتبة بأناقة في صفوف وأعمدة في الجدول الدوري الشهير الذي أنشأه ديمتري مندلييف Dimitri Mendeleev في القرن التاسع عشر. بعض العناصر مثل الكربون والحديد شائع بينما بعضها الآخر مثل الذهب واللانثانوم نادر. وفي الكون بكامله فإن ٩٩% من المادة العادية (كمقابل للمادة المعتمة) هي على شكل هيدروجين وهيليوم حيث صنّع الهليوم خلال الدقائق القليلة الأولى بعد الانفجار الكبير. إن أحد التحديات بالنسبة لعلم الفلك الفيزيائي هو تفسير الوفرة النسبية للعناصرالأخرى المتبقية. ولفترة طويلة بقي أصلها غامضاً ولكن في الأربعينات أصبح واضحاً أن للنجوم علاقة وثيقة بذلك. فالنجم عبارة عن مفاعل نووي ضخم حار بما يكفي لصنع عناصر ثقيلة من عناصر خفيفة.

بدأت النجوم الأولى بالتشكل عندما تجمع غاز الهيدروجين والهليوم المتبقيين من الانفجار الكبير في سحب كثيفة. لقد استغرق هذا بضعة مئات الملايين من السنين لأن الإشعاع الكوني الخلفي كان في البداية قوياً جداً

بحيث لم يسمح للغازات بالاستقرار. وفي النهاية وتحت تأثير قوة سحب الثقالة انشطرت السحب المتكاثفة إلى شبه نجوم protostars – كرات من الغاز أصبحت أسخن مع تقلصها. وما إن تبلغ درجة حرارة مركز الكرة بضعة ملايين درجة حتى تبدأ التفاعلات النووية. ويولد النجم الحقيقي عندما تخلق هذه الحرارة ضغطاً داخلياً كافياً يوقف التقلص. وهكذا عندما يستقر النجم فسوف يشتعل بسرور لملايين أو حتى لبلايين السنين بحسب كتلته. إن النجوم ذات الكتل المنخفضة باردة نسبياً وبالتالي فهي تستهلك وقودها النووي ببطء وتعيش لفترة طويلة. أما النجوم الضخمة فهي تلتهم وقودها بسرعة وتنطفئ بسرعة.

تشتق معظم النجوم معظم طاقتها من تحويل الهيدروجين إلى الهليوم بالاندماج النووي. وفي الانفجار الكبير كان هذا التحويل سريعاً وسهلاً لأن الكون ولد بذخيرة كبيرة من النيوترونات. تتألف نواة الهيدروجين من بروتون واحد. ولكن النيوترونات غير مستقرة إذا كانت وحيدة ولذا لم تكن هناك نيوترونات طليقة لتستخدم مع بدء تشكل النجوم. ولذا يجب إيجاد طريق آخر للهليوم أبطأ بكثير باستخدام البروتونات فقط. وتبعد البروتونات بعضها بعضاً لأنها جميعاً تحمل شحنة كهربائية موجبة، ولكنها عند درجات حرارة عالية يمكن أن تتحرك بسرعة كبيرة بحيث يمكن أن تقترب من بعضها بعضاً. وإذا كانت السرعة كبيرة بما يكفي كما هي في المركز الحار لنجم، يمكن لبروتونين أن يقتربا من بعضهما بعضاً إلى ضمن مجال القوة النووية القوية مما يفسح الطريق أمام تحولات نووية. تذكر أن القوة القوية تنخفض بشدة إلى الصفر إذا كانت المسافة أقل من واحد إلى عشرة تريليون سنتيمتر والتي تساوي تقريباً بعد نواة الذرة. ولذا فقط عندما تقترب البروتونات جداً من بعضها بعضاً تصبح تحت تأثير هذه القوة. وعندما تفعل ذلك فإن القوة النووية

القوية قوية بما يكفي لتتغلب على التنافر الكهربائي ذي المجال الأطول. وليس من الضروري شرح التفاصيل هنا وإنما يكفي القول بأنه عند تشكل نواة هليوم واحدة من أربعة بروتونات يجب أن يتحول بروتونان منها إلى نيوترونين[٧]. وعلى الرغم من أن القوة النووية القوية هي المسؤولة عن الطاقة الهائلة المطلقة من الاندماج النووي إلا أن التحول من بروتون إلى نيوترون يرجع إلى تأثير القوة النووية الضعيفة. ولأن القوة الأخيرة ضعيفة جداً فإنها تبطئ بشدة سرعة عملية إنتاج الهيليوم – بالمقارنة مع سرعة تخليق الهيليوم الأولية بعد الانفجار الكبير مباشرة. وهذا لحسن الحظ يسمح لمعظم النجوم أن تحترق بمعدل ثابت لمدة طويلة جداً وفي حالة الشمس لمدة طويلة تكفي لتشكيل الحياة و لرعاية تطور كائنات معقدة.

وعندما ينخفض مخزون النجم من الهيدروجين فإنه يواجه مشكلة طاقية. ولا تستطيع النجوم الصغيرة والمتوسطة أن تولد أية حرارة من العمليات النووية. ولذا فهي تتقلص لتشكل أقزاماً بيضاء تلمع بسبب الحرارة المتبقية فقط. ولكن النجوم ذات الكتلة الأكبر يمكنها أن تعتمد على تفاعلات اندماج نووية تبقيها متوهجة لأنها يمكن أن تصل إلى درجات حرارة داخلية أعلى (حتى مئات الملايين من الدرجات المئوية). ولذا ما الخطوة التالية بعد الاندماج الهيدروجيني؟ إن الطريق المباشر قدماً سيكون إضافة بروتون آخر إلى الهيليوم لتشكيل الليثيوم. لكن هذا التفاعل لا يتم لأن نواة ليثيوم بثلاثة بروتونات ونيوترونين غير مستقرة ولأن الليثيوم عادة يمتلك ثلاثة أو أربعة نيوترونات. ماذا عن اندماج نواتي هيليوم لتصنع النظير بريليوم ٨ بأربعة بروتونات وأربعة نيوترونات؟ ليس هذا جيداً أيضاً لأن تلك النواة غير مستقرة أيضاً وتتفكك بمجرد تشكلها. إن النظير المستقر للبريليوم الموجود في الطبيعة يمتلك خمسة بروتونات وليس أربعة. ولذا يواجه النجم مشكلة نووية خطيرة.

كيف صنّع الكون الكربون

العنصر الذي يعطي الحياة

بعد البريليوم فإن الكربون هو العنصرالأثقل. فهو يمتلك ستة بروتونات وستة نيوترونات. أيمكن أن تكون النجوم قد عثرت على طريقة لتجاوز الليثيوم والبريليوم وأن تذهب مباشرة من الهيليوم إلى الكربون. إن هذا يحتاج إلى ***ثلاث*** نوى من الهليوم تتحد مع بعضها بعضاً في لحظة واحدة. وتعمل رياضيات البروتون والنيوترون (٣*٢*٢ =٦+٦) بشكل صحيح وسيكون المنتج النهائي نواة كربون مستقرة. ولأن هناك بروتونات أكثر تدخل في تصادم نووي من الاندماج الهيدروجيني الأصلي فإن التنافر الكهربائي أكبر ولذا يجب أن تكون درجة الحرارة أعلى بكثير للتغلب عليه ولكي تسمح للنوى أن تقترب بحيث تدع القوة النووية القوية تعمل. ليس هذا مشكلة: فبزيادة التقليص يمكن لنواة النجم أن ترفع درجة الحرارة إلى مستوى مرتفع بما فيه الكفاية. ولكن هناك مشكلة رئيسة بالنسبة للتفاعل نفسه. إن احتمال التقاء ثلاث نوى من الهليوم في المكان نفسه والوقت نفسه ضئيل جداً. وبالتأكيد لا حاجة لها لتلتقي في اللحظة نفسها تماماً. إذن يمكن لنواتي هليوم أن تشكلا أولاً نواة غير مستقرة من البريليوم وقبل أن تتفكك يمكن لنواة ثالثة من الهيليوم أن تصدمها. ولكن يبدو من الوهلة الأولى أن العدد غير مناسب بنواة بيريليوم نموذجية تتفكك بسرعة كبيرة جداً كي تعطي نواة هليوم ثالثة فرصة مناسبة لتصدمها. لذا يبدو ظاهرياً أن هذا الطريق لخلق الكربون مغلق أيضاً.

كان هذا هوالوضع الذي قدّم نفسه لعلماء الفلك الفيزيائية في أوائل الخمسينات. اهتم الفلكي الإنكليزي فريد هويل غير المعروف نسبياً آنذاك بهذه المشكلة. لقد حاجج بأن الكائنات المبنية على عنصر الكربون بشكل عام وفرد هويل بشكل خاص لم يكونا ليوجدا لو توقف تخليق العناصر عند الهيليوم. حسناً يبدو أن شيئاً ما قد حدث لتصنيع الكربون وعلى الأرجح فإنه موجود داخل النجوم. وإذا فشل اعتبارعام للفيزياء النووية في تعليل خلق الكربون فربما كان هناك شيء آخر غير عادي مسؤول عن ذلك.

ويوصلنا هذا إلى لب القضية. ففي العلم يحاول المرء أن يتجنب اللجوء إلى المصادفات. ويدعونا مقص أوكام Occam's razor إلى أن نجرب **التفسير الواضح أولاً**. ولكن التفسيرات الواضحة والبسيطة لا تنجح في بعض الأحيان ونضطر إلى اللجوء لشيء غيرعادي. وكما أوضح شرلوك هولمز عندما تستبعد المستحيل فإن ما يبقى مهما كان غير محتمل لابد أن يكون الحقيقة. وبصورة عامة فإن الالتزام بالبسيط والواضح هو الاستراتيجية الأفضل، ولكن هناك موضوع واحد يمكن فيه حتى للمصادفة غير العادية أن تدخل ضمن تفسير علمي مشروع – وهذا الموضوع هو **الحياة**.

وحتى تدرك ما أعنيه اعتبر هذا: لم يمت أي من أجدادك بدون أن يكون له أطفال. وفي تاريخ البشرية كانت وفيات الأطفال على الأغلب مرتفعة جداً. لقد كان هناك عدد كبير من الأطفال الذين ماتوا قبل أن يبلغوا سن المراهقة. تصور الآن أجدادك من حقبة ما قبل الإنسان التي تمتد مئات الملايين من السنين إلى الوراء[٨]. فمنذ زمن طويل جداً كان أسلافك سمكاً. فكر كيف يبذّر السمك عدداً لا يحصى من البيوض و تخيّل الجزء البسيط جداً جداً الذي بقي ونضج. ومع ذلك فلم يكن أحد من أسلافك – ليس واحداً منهم – سمكة فاشلة. ما الاحتمالات ضد هذا التسلسل من الحوادث المحظوظة التي امتدت بدون انقطاع على مدى بلايين السنين وجيلاً بعد جيل؟ إن أي سحب يانصيب بشري لايجرؤ أن يقدم مثل هذه الاحتمالات غير المناسبة. ولكن ها أنت موجود هنا – رابح في لعبة الحظ الداروينية العظيمة. هل يعني هذا أن هناك شيئاً معجزاً في تاريخ أسلافك؟ لا على الإطلاق. إذا كان وجودك نفسه يعتمد على مجموعة كثيفة من الحوادث الاستثنائية فإن مثل هذه الحوادث قد تصبح جزءاً من تفسير علمي صحيح تماماً. ويدعو العلماء هذا تأثير ***خيار الملاحظ*** observer selection effect . وبالنظر إلى العالم من خلال عيني ملاحظ فإن على العالم الذي تراه أن يشمل كل ما يتطلبه منك أنت – الملاحظ – لتراه. لقد طبق هذا التفكير «الإنساني anthropic» من قبل هويل على مسالة تخليق الكربون في النجوم باللجوء ليس إلى سلسلة من الحوادث

الاستثنائية كما هو الحال بالنسبة لأسلافنا ولكن إلى خاصة طارئة وغير متوقعة لنواة الذرة.

وهنا كيف يحدث ذلك. تعتمد سرعة التفاعل النووي على طاقة الجسيمات المشاركة فيه. ويكون الاختلاف في السرعة غالباً على شكل ارتفاع أو انخفاض طفيف في الكفاءة ولكن هناك أحياناً تغير كبير ومفاجئ في السرعة. ويدعو الفيزيائيون هذا التضخم المفاجئ طنيناً resonence. ويأتي الاسم من الطريقة التي يدخل فيها الميكانيك الكمومي في الصورة. فالنظرية الكمومية تعزو صفة الموجة على الجسيمات (انظر الصندوق ٤) بما في ذلك نوى الذرات، والموجات كما هو شائع تظهر طنيناً. وعلى سبيل المثال يمكن لبعض مغني الأوبرا أن يؤدوا نغمة بتردد مرتفع يمكن أن تطنّ مع زجاج كأس من الخمر بما يكفي لتهشيمه. ويأتي مثال عادي آخر على الطنين من ضبط إبرة الراديو لتلقّي الإشارة من محطة معينة. فعندما يطابق تردد دارات الراديو تردد الموجات الراديوية من المحطة تطنّ الموجات مع الدارة وتتضخّم الإشارة جداً. ويمكن لموجات الكمومية أن تطن أيضاً وبالتالي تزيد من سرعة العملية الذرية أو النووية.

أدرك هويل أن الطنين هو المفتاح لتفسير تخليق الكربون. إن كتلة نواة كربون عادية أقل قليلاً من كتل نوى الهليوم الثلاثة التي من المفترض أن ترتطم ببعضها بعضاً لتشكلها وذلك بسبب (الكتلة – طاقة) المطلقة عند تصنيع الكربون. ولكن يمكن للنواة أن توجد في حالات مهيّجة أيضاً ولذا فقد استنتج هويل أنه يجب أن تمتلك نواة الكربون حالة مهيّجة أكبر بقليل من (طاقة – كتلة) نوى الهليوم الثلاثة مجتمعة. يمكن عندئذ لنظام الهليوم – بيريليوم أن يطن عند هذه الكتلة – طاقة إذا عوّض النقص البسيط بالطاقة الحركية للجسيمات المتحركة داخل النجم الحار. وسيكون تأثير الطنين إطالة عمر نواة البيريليوم غير المستقرة كثيراً معطياً نواة الهليوم الثالثة فرصة جيدة للاصطدام بها. وسيكون الطريق عندها مهيئاً لتشكيل كمية وافرة من

الكربون ضد كل الاحتمالات المضادة. وقد حسب هويل كمية طاقة الطنين اللازمة لذلك.

حدث هذا عام ١٩٥١. ولم يكن يعرف سوى القليل جداً عن تهيج النوى بالرغم من تطوير برنامج تجريبي أثناء الحرب العالمية الثانية لمشروع مانهاتن للقنبلة الذرية. كان هويل يزور كالتك في ذلك الوقت وقد واجه مجموعة من الفيزيائيين النوويين الأمريكيين بمن فيهم ويلي فاولر (الذي حصل على جائزة نوبل فيما بعد بسبب عمل مماثل) بتنبؤه بطنين نواة الكربون. استغرب الفيزيائيون من ظهور فلكي بريطاني مغمور بدون إعلان يدّعي أنه يعرف عن نواة الكربون أكثر من مجموعة مختارة من خبراء الذرة الأمريكيين. لكن هويل لاحق زملاء فاولر باستمرار بحيث أنهم وافقوا على إجراء تجربة لاختبار الفكرة. وبعد بعض التعديلات على أجهزتهم استطاع فيزيائيو الذرة أن يعلنوا أن تخمين هويل كان مطابقاً للحقيقة فعلاً. هناك طنين في الكربون وهو عند الطاقة اللازمة للنجوم كي تصنع كميات كبيرة من هذا العنصر بعملية ثلاثي – الهليوم. وتؤكد التجارب أن الطنين يطيل عمر نواة البيريليوم غير المستقرة لزمن يقترب من مائة بليون البليون من الثانية. وهي مدة كافية ليستمر تفاعل نوى الهليوم الثلاثة. وما إن يصنع الكربون حتى تصبح البقية عملية سهلة. هناك مشاكل واختناقات أخرى. يتشكّل الأكسجين بعد الكربون ثم النيون ثم المغنيزيوم وهكذا صعوداً في الجدول الدوري للعناصر حتى الحديد. ويغطّي هذا المواد كلها التي تحتاجها الحياة لتبدأ. وتنتج النجوم أيضاً عناصر أثقل من الحديد ولكن هذا يحدث عند الانفجارات فقط حينما تتوفر طاقة أكبر[٩].

تركت قصة الكربون انطباعاً عميقاً على هويل. لقد أدرك أنه لولا صدفة وجود طنين نووي عند مستوى الطاقة الصحيحة لما كان هناك كربون في الكون وبالتالي لم تكن الحياة لتوجد فيه. إن الطاقة التي يحدث عندها طنين الكربون النووي محددة بالتفاعل بين القوة النووية القوية والقوة

الكهرطيسية. إذا كانت القوة القوية أكبر أو أقل بقليل (حوالي ١% فقط)[١٠] فستتغير طاقات ربط النوى ولن تكون حسابات الطنين صحيحة وربما كان الكون خالياً من الحياة و غير ملاحظ.

ما الذي يمكن أن نستنتجه من هذا؟ عندما جلب هويل الاهتمام إلى هذه القضية كانت النظرة التقليدية أن شدة القوة النووية هي بكل بساطة «معطاة»- إنها مقدار حر لا تحدد قيمته بأية نظرية بل يجب قياسه بالتجربة. كانت الاستجابة الشائعة هي طرح المشكلة جانباً والتعليق «إن مقدارها هو مقدارها، ولو كانت مختلفة لما وجدنا هنا لنقلق حول ذلك». ولكن يبدو أن هذا التوجّه غير مرض إلى حد ما. نستطيع بالتأكيد تخيّل كون يكون فيه شكل قانون القوة القوية هو نفسه ولكن تكون شدة القوة فيه مختلفة مثلما نتخيل وجود كون تكون فيه الثقالة أقوى أو أضعف ولكنها تطيع القوانين نفسها. إن حقيقة أن قيمة القوى القوية والكهرطيسية في نوى الذرات هي «صحيحة بالضبط» لنشوء الحياة (مثل عصيدة غولديلوك Goldilock's porridge) تحتاج إلى تفسير.

ألّف جورج غاماو George Gamow الذي كان مسؤولاً عن وضع نموذج الانفجار الكبير الحار للكون على الخارطة العلمية في الخمسينات، الوصف الذكي التالي لأهمية اكتشاف هويل والذي دعاه «الخلق الجديد»:

في البدء خلق الله الإشعاع والمادة الأولية اليلم ylem[١١]. وكان اليلم بدون شكل أو رقم وكانت النوى تتحرك بجنون على سطح الأعماق.

وقال الله: لتكن هناك كتلة ثنائية وكانت هناك كتلة ثنائية. وخلق الله الديوتوريوم وكان ذلك جيداً.

وقال الله: لتكن هناك كتلة ثلاثية. وكانت هناك كتلة ثلاثية. وخلق الله التريتيوم[١٢] وكان هذا جيداً.

واستمر الله في نداء الأرقام حتى وصل إلى عناصر ما بعد اليورانيوم. ولكنه عندما عاد ببصره إلى ما صنعه رأى أنه لم يكن جيدا

فأثناء الانفعال بالعد أخطأ في نداء الرقم خمسة [١٣]، وبالتالي فمن الطبيعي أنه لم يعد من الممكن تشكيل عناصر اثقل.

انزعج الله من هذا الخطأ جداً وأراد أن يتعهد الكون مرة أخرى وأن يبدأ كل شيء من البداية. لكن هذا كان بسيطاً أكثر من اللازم. وبدلاً من ذلك ولأن الله قادر على كل شيء، قرر صنع العناصر الأثقل بالطريقة الأصعب.

ولذا فقد قال الله : ليكن هناك هويل. وكان هناك هويل. ورأى الله هويل وأخبره أن يصنع العناصر بأية طريقة يراها ملائمة.

ولذا قرر هويل أن يصنع عناصر ثقيلة في النجوم وأن ينشرها في الكون بواسطة انفجارات المستعرات. ولكنه بفعل ذلك كان عليه أن يحصل على منحني التوافر نفسه الذي كان سينتج من التخليق النووي لليلم ylem لو لم ينس الله أن ينادي الرقم خمسة.

وبذلك وبمعونة الله صنع هويل العناصر الثقيلة بهذه الطريقة. ولكنها كانت معقدة جداً بحيث لا يستطيع اليوم هويل أو الله أو أي شخص آخر أن يخبر كيف تم ذلك.

آمين[١٤].

القوة الضعيفة – وظيفة «مختلقة أخرى»؟

وبالطبع فهذا ليس نهاية القصة. ولكن قبل المضي قدماً بها أريد أن أمرّ على «مصادفات أخرى» من طبيعة مشابهة. تبين أن وظيفة «هويل المختلقة» هي الأولى من حالات عدة تكون تعديلات طفيفة ظاهرياً في بعض الخصائص الفيزيائية الأساسية فيها قاتلة. والطريقة الجيدة للنظر إليها هي أن تتصور نفسك وأنت تلعب دور الخالق وأن تشرع في تصميم كون. افترض أنك عزمت مسبقاً على القوانين الأساسية في الفيزياء ولكن لا زال لديك بعض المتحولات الحرة بين يديك. يمكن تحديد قيم هذه المتحولات بإدارة

مفاتيح آلة تصميم موجودة لديك (انظر الشكل ٢٣). أدر أحد هذه المفاتيح ويصبح الإلكترون أثقل قليلاً وأدر مفتاحاً آخر لتصبح القوة النووية القوية أضعف قليلاً وهكذا. يمكنك أن تجرّب وترى ما الذي سيحدث للكون. متى سيكون هناك اختلاف كبير، ومتى لا يكون هناك تغيير يذكر؟ وعلى الرغم من أنه لايمكن للفيزيائيين أن يجروا هذ التجربة فعلاً (حتى الآن على الأقل) إلا أنه يمكنهم إجراء حسابات بسيطة ليروا - إذا بقي كل شيء آخر ثابتاً- مالذي ستصنعه مثل هذه التغييرات بالنسبة لحظوظ الحياة. إن «التحفظ» بأن يبقى كل شيء آخر ثابتاً مهم هنا لأنه ليست لدينا فكرة أن المتحولات المهمة الأخرى هي حقاً حرة ومستقلة أو أنها سترتبط بطريقة ما بنظرية أكثر شمولاً أو أنها يمكن أن تحدد تماماً من نظرية كهذه. ربما لا تستطيع أن تزيد من كتلة الإلكترون وأن تخفض من قوة القوة النووية القوية في الوقت نفسه لأن هاتين الخاصتين للطبيعة متصلتان بطريقة عميقة تمنع ذلك. ومع ذلك فحسب معرفتنا الحالية يبدو أن الحال ليست كذلك.

لذا دعنا نلعب بآلة التصميم ونرى ما الذي سيحدث. ناقشت مسبقاً موضوع القوة النووية القوية. لكن ماذا عن القوة الضعيفة - تلك القوة المسؤولة عن أشياء مثل التخافت الإشعاعي وتحول النيوترونات إلى بروتونات؟ إن الوضع هنا أقل حرجاً لكنه لا زال هاماً. إن القوة الضعيفة مرتبطة بقصة الكربون ليس بصنعه فقط، وإنما بنشره أيضاً. لقد تشكلت ذرات الكربون الموجودة في جسمك داخل نجم في مكان ما منذ بلايين السنين. كيف انتهت إلى الأرض؟ إن الطريقة الجيدة ليخرج نجم ما الكربون منه هي بالانفجار. وعادة ما تنهي النجوم الضخمة حياتها كارثياً على شكل نجم مستعر عملاق. إن ما يحدث هو فراغ نواة النجم من الوقود النووي بحيث لا تستطيع تحمل الضغط الهائل اللازم لإبقائها مقابل وزن مادته. ويتم الوصول إلى نقطة حرجة حيث تتوقف النواة فجأة و تنهار نحو الداخل بشكل كارثي لتشكل إما ثقباً أسود أو نجماً نيوترونياً (بحسب كتلته الأولية). وبعد

انهيار النواة تغوص المواد المغطية نحو الداخل ولكنها تعود لتنفجر بشكل مثير مطلقة الغاز إلى الفضاء بين النجوم. تنفجر مثل هذه الكوارث النجمية بمعدل مرتين أو ثلاث مرات كل قرن لكل مجرة وتطلق طاقة هائلة بحيث يستطيع النجم المصاب أن ينافس مجرة بأكملها في شدة إشعاعه لعدة أيام.

يتعلق عامل هام في آلية الارتداد بالقوة النووية الضعيفة. عندما تنفجر نواة نجم ضخم نحو الداخل تنضغط بروتوناتها وإلكتروناتها بعنف مع بعضها بعضاً. وتتحول البروتونات تحت تأثير القوة النووية الضعيفة إلى نيوترونات ويطلق كل بروتون متحول نيوترينواً أثناء العملية [١٥]. ولذا تقذف النواة المتفجرة داخلياً فجأة مداً هائلاً من النيوترينوات. إن هذه ليست مجرد نظرية: ففي عام ١٩٨٧ التقطت تجربة أجريت تحت الأرض في اليابان صممت لالتقاط تخافت البروتونات نبضة من النيوترينوات في الوقت نفسه الذي حدث فيه انفجار نجم مستعر في السحابة الماجلانية العظمى. وحتى تتفاعل النيوترينوات مع المادة العادية يجب أن يتم هذا عبر القوة النووية الضعيفة. وفي الحالات العادية فإن هذا التفاعل ضعيف جداً ليكون له أي تأثير ولكن الظروف ضمن نجم ينهار ليست عادية أبداً. وتنهار المادة النووية للنجم لتصل إلى كثافة تبلغ حوالي بليون طن لكل سم مكعب – وهي كثيفة إلى درجة تجعل نفوذ النيوترينوات خلالها عملية صعبة جداً. ومع انطلاقها من داخل النجم فإنها تمارس ضغطاً هائلاً نحو الخارج. ويساعد هذا في تدوير المواد المندفعة نحو داخل النواة المنهارة وإطلاقها رجوعاً إلى الفضاء الخارجي. وإذا كانت القوة الضعيفة أضعف فلن تمتلك النيوترينوات القوة لخلق هذا الانفجار. أما إذا كانت أقوى فإن النيوترينوات ستتفاعل بشدة أكبر مع نواة النجم ولن تهرب لتضرب الطبقات الخارجية. وفي الحالتين سيكون نشر الكربون والعناصر الثقيلة الأخرى اللازمة للحياة قد سويّ بهذه الطريقة [١٦].



الشكل ٢٣ آلة المصمّم الكوني

باللعب بالمفاتيح على الآلة الخيالية يمكن للمصمم الكوني أن يبدل عوامل الكون المادي مثل كتل الجسيمات وشدات القوى. تقترح الحسابات أن التغيرات الصغيرة في بعض العوامل الرئيسة ستحطم البنية المألوفة للكون وتمنع الحياة من الظهور.

القوة الضعيفة في الكون الأولي

إن القوة الضعيفة مهمة في ناحية أخرى من قصة الحياة عن طريق التحكم بكمية الهيليوم المخلق في الكون الأولي الحار. لقد بينت في الفصل الثالث كيف أن الوفرة النسبية للهيدروجين والهيليوم تعتمد على نسبة النيوترينوات إلى البروتونات في المادة الأولية بعد حوالي واحد ثانية من الانفجار الكبير. وسأشرح كيفية تأثير القوة الضعيفة على الأشياء. إن النيوترون المستقل غير مستقر وله عمر نصف يبلغ ٦١٥ ثانية حيث يتخافت متحولاً إلى بروتون[١٧]. وتنجم عملية التخافت هذه بتأثير القوة الضعيفة. لكن الكون يستغرق حوالي ١٠٠ ثانية ليبرد بما يكفي ليسمح للديوتيريوم بالتشكل ولذا فهذا شيء قريب الحدوث. ولو كانت القوة

الضعيفة أقوى قليلاً لتخافتت النيوترونات الأولية بشكل أسرع مقللة كمية الهليوم الكلية المنتجة والتي ستقلل بدورها من إنتاج الكربون المشجع للحياة في النجوم. ومن جهة أخرى لو كانت القوة الضعيفة أضعف قليلاً فستنشأ مشكلة أخرى مختلفة. لقد كانت المادة الكونية الأولية مزيجاً تاماً من البروتونات والنيوترونات والإلكترونات والنيوترينوات. وقبل حوالي ثانية واحدة حوفظ على الجسيمات المختلفة عند درجة حرارة واحدة (أي أنها كانت في حالة توازن ثرموديناميكي) بواسطة تفاعلات مختلفة. وقد لعبت النيوترينوات الدور الحاسم في المحافظة على التوازن بين البروتونات والنترونات لأن هذه الجسيمات يمكن أن تتحول لبعضها الآخر بامتصاص النيوترينوات وإصدارها (ومضاد النيوترينوات). ومع ذلك فإن قدرة النيوترينوات على توزيع الطاقة الحرارية ديموقراطياً بين البروتونات والنترونات تعتمد على ما إذا كان التحويل يحدث بسرعة كافية بحيث يلازم انخفاض درجة الحرارة السريع. ويصبح السباق للحاق أصعب فأصعب لأن تمدد الكون يمدد طاقات الجسيمات المشاركة وكثافاتها مخفضاً بذلك سرعة التفاعل. وفي النهاية يأتي الوقت الذي تخسر فيه الصراع. ولا تستطيع النيوترينوات المسكينة المسلحة بالقوة الضعيفة فقط أن تلحق السباق وتنسحب فجأة من اللعبة. ويحدث هذا «الانفصال» في أقل من ثانية واحدة بقليل. وعند تلك اللحظة يختل التوازن الثرموديناميكي بين البروتونات والنترونات لأنه لم تعد هناك آلية لإعادة توزيع الطاقة المتاحة بين أعدادها النسبية.

إن النيوترونات أثقل بحوالي ٠,١% من البروتونات. ولذا لو قيّدت بنصيبها العادل من الطاقة الحرارية المتاحة فإن مبدأ الديموقراطية يعني أنه سيكون هناك عدد اقل منها مقارنة بالبروتونات. (لأن صنع النيوترون الأثقل قليلاً من البروتون يستهلك طاقة أكبر). وتعتمد درجة ترجمة هذا الفرق في الكتلة إلى ميّزة عددية لصالح البروتونات بصورة حرجة جداً على درجة الحرارة. وبعد واحد ميكرو ثانية من الانفجار الكبير عندما كانت درجة

الحرارة تريليون درجة فإن الفرق في الكتلة ب ٠,١% تقريباً غير مهم (بالمقارنة مع الطاقة الحرارية الهائلة المتوفرة) ولذا كانت النسبة بين النيوترون إلى البروتون واحد إلى واحد تقريباً. ولكن مع هبوط درجة الحرارة السريع وتوفر كمية أقل فأقل من الطاقة الحرارية للتشارك يصبح توازن الميزة التي تفضل البروتونات الأخف أكبر بكثير: تتقلص نسبة النيوترونات إلى البروتونات بشدة من واحد إلى واحد إلى ستة إلى واحد (ستة بروتونات لكل نيوترون). وعند هذه المرحلة خرجت النيوترينوات من اللعبة وبقيت النسبة بين البروتونات إلى النترونات ثابتة عند أكثر بقليل من ستة إلى واحد.

ولذا نستطيع الآن رؤية ما الذي كان سيحدث لو كانت القوة الضعيفة أضعف. كانت الينوترينوات ستترك الصراع أبكر عندما كان الكون أشد حرارة وعندما كانت الميزة العددية التي أعطيت للبروتونات الأخف بالمبدأ الديموقراطي أقل. وكان هذا سيعني نيوترونات أكثر وبروتونات أقل في المزيج النهائي. ولأن البروتونات الزائدة تابعت لتصنع الهيدروجين فربما كان هناك هيدروجين أقل وهيليوم أكثر في الكون. ولو كانت النسبة عند التوقف واحد إلى واحد تماماً لانتهت كل المادة إلى الهيليوم ولكان لتصنيع كمية أقل من الهيدروجين نتائج سيئة للحياة. إن النجوم المستقرة المعمّرة مثل شمسنا هي مفاعلات هيدروجينية. وبدون كمية وافرة من هذه المادة الخام فستكون فقيرة بالوقود وستكون مواصفاتها مختلفة. وأيضاً يتحد الهيدروجين مع الأكسجين ليشكلا الماء وهو جزء حيوي من قصة الحياة في المراحل كلها. وعلى سبيل المثال ربما بدأت الحياة في «حساء أولي» مائي وبقيت على مدى الشطر الأكبر من تاريخها على الأرض ضمن المحيطات. وحتى الحيوانات البرية مثلنا تحتوي على ٧٥% ماء. وبدون الماء الوفير فإن حظوظ تشكل الحياة وازدهارها ضئيلة جداً.

إن جوهر هذه الاعتبارات النووية المختلفة هو أنه لو كانت القوة الضعيفة أقوى أو أضعف قليلاً مما كانت عليه لكان التكوين الكيميائي للكون مختلفاً جداً ولكانت فرص الحياة عليه ضئيلة.

التناغم الجيد للقوى الأخرى

دعني الآن أنصرف إلى قوتين أخريين من قوى الطبيعة وهما الثقالة والكهرطيسية. ما ضرورة مواصفاتهما لقصة الحياة؟ من السهل رؤية لماذا سيهدد تغير قوتيهما الحياة. لو كانت الثقالة أقوى لاشتعلت النجوم أسرع ولماتت أبكر: ولو استطعنا بواسطة سحر ما أن نجعل الثقالة أقوى بمرتين مثلاً لسطعت الشمس أقوى بأكثر من مائة مرة ولهبط عمرها كنجم مستقر من ١٠ بليون سنة إلى أقل من ١٠٠ مليون سنة والذي ربما كان قصيراً جداً ليسمح للحياة أن تظهر وبالتأكيد قصيراً جداً لنشوء مراقبين أذكياء وتطورهم. ولو كانت القوة الكهرطيسية أقوى لكان التنافر الكهربائي بين البروتونات أكبر مما يهدد استقرار نواة الذرة.

إن أحد الأشياء المثيرة حول القوة الكهرطيسية وقوة الثقالة هو الفارق الكبير في قوتهما النسبية. ففي ذرة هيدروجين عادية يرتبط الإلكترون الوحيد بالبروتون الوحيد بقوى التجاذب الكهربائي. ولكن هناك مصدر آخر للتجاذب أيضاً يعمل هنا – الثقالة. ومن السهل حساب القوى النسبية لهذين النوعين من التجاذب. لقد ظهر أن القوة الكهربائية أقوى بحوالي $١٠^{٤٠}$ مرة من قوة الثقالة. من الواضح إذاً أن الثقالة ضعيفة جداً بالمقارنة مع القوة الكهرطيسية.

ومع ذلك فهذا ليس ما نشعر به بالنسبة لهاتين القوتين. فنحن نشعر بقوة ثقالة الأرض بقوة بينما تبدو القوة الكهربائية اليومية مهملة بالمقارنة. إن سبب هذا الفارق هو التأثير **التراكمي** للثقالة: فكلما زادت كمية المادة قويت قوة جاذبيتها. أما بالنسبة للشحنات الكهربائية فالوضع مختلف لأنها تأتي على شكل شحنات موجبة وسالبة. فإذا راكمت كمية من الشحنات الكهربائية

الموجبة في مكان ما فإنها ستجذب إليها شحنات سالبة من بيئتها وبالتالي تقلل من محصلة القوة. وبهذه الطريقة فإن للشحنة الكهربائية خاصة مقيّدة ذاتياً. ولكن هذا ليس هو الحال بالنسبة لقوة الثقالة: فكلما راكمت مادة في مكان ما كلما سحبت كمية إضافية من المادة إليها وكلما أصبحت محصلة قوة الثقالة أقوى. ولذا فقوة الثقالة مضخّمة ذاتياً ولذا فبالرغم من ضعفها الشديد إلا أنها يمكن أن تزداد لتصبح مسيطرة كما هي في حالة انهيار نجم.

اكتشف براندون كارتر Brandon Carter منذ سنوات علاقة مذهلة بين النسبة غير المفسرة $١٠^{٤٠}$ وخصائص النجوم. على كل نجم أن ينقل الحرارة من الفرن النووي في مركزه إلى السطح حيث يشع منه إلى الفضاء. ويمكن للحرارة أن تتدفق بطريقتين: بالإشعاع حيث تنقل الفوتونات الطاقة، وبالحمل حيث يصعد الغاز الساخن من الأعماق إلى السطح جالباً معه الحرارة. ولشمسنا طبقة حمل خارجية يبدو سطحها من خلال المنظار كمرجل يغلي. ويعتقد الفلكيون أن حركة الحمل هذه تلعب دوراً في تشكيل الكواكب على الرغم من أنها أبعد من أن توضّح كيف (لا تزال عملية تشكل الكواكب غير مفهومة جيداً). وتعتمد النجوم الأكبر على نقل الحرارة بالإشعاع أكثر من اعتمادها على الحمل وقد اعتقد أن هذا هام في خلق الظروف التي أدت إلى انفجارات النجوم المستعرة العملاقة. ولأن كلاً من الكواكب والنجوم المستعرة جزء هام من قصة الحياة فمن المهم للكون أن يحتوي مجموعة مختارة من النجوم المشعة والتي تعمل بالحمل. اكتشف كارتر من نظرية بنية النجوم أنه للحصول على النوعين من النجوم فإن نسبة قوة القوة الكهرطيسية إلى قوة الثقالة يجب أن تكون قريبة جداً من القيمة الملاحظة $١٠^{٤٠}$. لو كانت الثقالة أقوى قليلاً لكانت النجوم كلها إشعاعية ولما تشكلت الكواكب، ولو كانت الثقالة أضعف قليلاً لكانت النجوم كلها حملية ولما تكونت النجوم المستعرة. وفي أي من الحالتين كانت فرص الحياة أقل.

عجائب أكثر للتناغم الجيد

كما لو أن ما شرحته مسبقاً ليس كافياً إذ أن هناك الكثير من «المصادفات الملائمة» في الفيزياء الأساسية والتي تجعل الكون ملائماً للحياة. وكمثال آخر على ذلك كتل الجسيمات تحت الذرية المختلفة. وينتج الفيزيائيون جداول لهذه الجسيمات بأرقام مدهشة ولكنها على ما يبدو ظاهرياً لا معنى لها إطلاقاً. لقد استلمت كثيراً من النصوص غير المرغوبة من علماء روحانيين هواة مقتنعين بأنهم عثروا على نماذج ذات مغزى في القيم العددية لكتل هذه الجسيمات. وللأسف فمثل هذه المخططات ملفّقة جميعها. ربما سيستطيع المنظّرون يوماً ما أن يشتقوا هذه الأرقام من مبادئ رياضية عميقة ترتبط بنظرية فيزيائية ملائمة ولكن هذا مطمح بعيد. وفي هذه الأثناء يمكننا أن نأخذ الأرقام كما هي كبداية ثم نسأل بعد ذلك ما الذي تعنيه بالنسبة للحياة؟

ولأعطيك إحساساً بما أتكلم عنه فإن نسبة كتلة البروتون إلى كتلة الإلكترون هي ١٨٣٦,١٥٢٦٦٧٥ – وهو رقم عادي تماماً. أما نسبة كتلة النيوترون إلى البروتون فهي ١,٠٠١٣٧٨٤١٨٧٠ التي تبدو عادية أيضاً. ويعني هذا فيزيائياً أن كتلة البروتون تساوي تقريباً كتلة النيوترون الذي هو كما رأينا سابقاً أثقل من البروتون بحوالي ٠,١ بالمائة. هل هذا مهم؟ إنه مهم حقاً ليس من أجل تحديد نسبة الهيدروجين إلى الهليوم في الكون فقط. إن حقيقة أن كتلة النيوترون أكبر بقليل جداً من كتل البروتون والإلكترون والنيوترينو مجتمعة هي التي تمكّن النيوترونات الحرة من التخافت. لو كان النيوترون أخف بمقدار ضئيل جداً فلن يستطيع التخافت بدون تزويده بطاقة من نوع ما. ولو كان النيوترون أخف بمقدار أكثر و بجزء من ١ بالمائة فقط فستكون كتلته أقل من البروتون وستنقلب الطاولة رأساً على عقب: ستكون البروتونات المستقلة هي الغير مستقرة بدلاً من النيوترونات. وبالتالي ستتخافت البروتونات إلى نيوترونات وبوزيترونات مما يسبب نتائج كارثية للحياة لأنه لا يمكن بدون البروتونات أن تكوّن هناك ذرات أو حتى كيمياء.

يقدم علم الكون أمثلة أجدر بالملاحظة على التناغم الجيد. وكما ناقشت فإن الإشعاع الميكروي الكوني الخلفي مزدان بتموجات واضطرابات هي صدى بذور البنية المتضخمة للكون. تذكر أنه اعتقد بأن هذه البذور نشأت في تقلبات كمومية خلال عملية التضخم. ورقمياً فإن هذه التقلبات صغيرة: حوالي واحد في المائة ألف وهي كمية يشير إليها علماء الكون بالحرف Q. لو كانت Q أقل من واحد بالمائة ألف – لنقل واحد بالمليون – فإن هذا سيمنع بقوة تشكل المجرات والنجوم. وبالمقابل لو كانت Q أكبر – واحد إلى عشرة آلاف أو أكثر – لكانت المجرات أكثف مسببة الكثير من التأثير الكوكبي على التصادمات النجمية. وإذا جعلت Q كبيرة جداً فسوف تشكّل ثقوباً سوداء ضخمة بدلاً من التجمعات النجمية. وفي الحالتين يجب أن تكون قيمة Q ضمن مجال ضيق لتجعل من الممكن تشكيل نجوم مستقرة ومتوفرة معمرة مصحوبة بنظام كوكبي من النوع الذي نعيش فيه.

وبالعودة إلى استعارتي حول آلة **المصمم** فإن مجموعة «المصادفات» الموفّقة في الفيزياء وعلم الكون توحي أنه كان على **المصمم الأعظم** أن يضبط مفاتيح آلته بعناية فائقة وإلا لكان الكون غير ملائم للحياة. كم مفتاحاً هناك؟ إن للنموذج القياسي لفيزياء الجسيمات حوالي عشرين كمية غير محددة بينما توجد عشرة بالنسبة لعلم الكون. إذن هناك بالمجموع أكثرمن ثلاثين«مفتاحاً»[١٨]. وكماحذّرت سابقاً فليست كل المتحولات مستقلة بالضرورة عن بعضها بعضاً ولا تحتاج كلها إلى تنغيم أو ضبط لتكون الحياة ممكنة. لكن العديد منها يتطلب ذلك بالتأكيد: تحتاج بعض الأمثلة التي قدمتها إلى «ضبط مفتاح» يجب أن يتم إلى دقة أقل من واحد بالمائة لتجعل الكون ملائماً للحياة. ولكن حتى هذه الحساسية تتضاءل إلى درجة الإهمال مقارنة بأحجية أعظم تناغم على الإطلاق وهو: **الطاقة المعتمة**.

وصفت الطاقة المعتمة على أنها تنافر كوني أو قوة مضادة للثقالة تدفع المجرات بعيداً عن بعضها بعضاً بمعدل متسارع. لكن هذا الوصف مضلّل بعض الشيء لأن مضاد الثقالة يستمر بالعمل حتى بدون وجود مادة عادية على الإطلاق. وكما ذكرت باختصار في الفصل الثالث إذا أدخلت قوة التنافر الكونية فإن كوناً خاوياً تماماً سيتمدد «أسياً» بحيث يتضاعف في الحجم على مدى فترات زمنية ثابتة. وتلخيصاً يمكن للمرء أن يفكر بالفضاء الفارغ على أنه مملوء بطاقة معتمة غير مرئية وما يتعلق بها من ضغط سالب وهو مزيج يخلق مضاد الثقالة.

لماذا كان على الفضاء الفارغ أن يمتلك طاقة معتمة؟ لماذا لا يكون بكل بساطة فارغاً بدون أية طاقة على الإطلاق؟ أحد الأسباب التي ألمحت إليها في الفصل الثالث هو أن الفضاء سيمتلك طاقة معتمة إذا اخترق بحقل مخفي مدرج مثل حقل التضخم. ولن نستطيع رؤية هذا الحقل أو لمسه ولكنه سيستمر في توليد مضاد الثقالة كما افترض أنه فعل ذلك بعنف في مرحلة تضخم الكون الأولي. ولكن هناك سبب آخر أيضاً يأتي من الميكانيك الكمومي الذي يتنبأ أنه حتى الفضاء الفارغ ظاهرياً مملوء بجسيمات افتراضية (انظر الصندوق ٤). تمتلك الجسيمات الافتراضية مثل الجسيمات الحقيقية طاقة وقد تبين أنها تمتلك أيضاً الضغط السالب المطلوب تماماً لتوليد قوة تنافر كونية من النوع الذي اقترحه آينشتاين.

أشرت سابقاً أنه عندما أدخل آينشتاين قوة التنافر الكونية «يدوياً» في نظرية النسبية العامة لم تستطع النظرية نفسها حساب قيمتها. لقد كان حراً في اختيار أي رقم يريده ليضرب به حد مضاد الثقالة وبالتالي تحديد الشدة الكلية لقوة التنافر الكونية. في تلك الأثناء استخدم بيانات فلكية ليحسب قيمة مقبولة تسمح بوجود كون ساكن – وهو نموذجه المفضل. وعندما غير رأيه بعد ذلك حول وجود كون ساكن كانت القضية مجرد تعديل الرقم الذي يضرب بحد

التنافر الكوني إلى الصفر وبالتالي حذف ذلك الحد من العلاقات تماماً. وقد تبرر مثل هذه المقاربة السريعة والمبسطة للتنافر الكوني أو الطاقة المعتمة إذا اقتصر التحليل على الثقالة فقط ولكنه لن يعمل إذا دخل الميكانيك الكمومي في هذا التحليل.

منذ ثلاثين عاماً تقريباً قرر عدد من الفيزيائيين النظريين وأنا من بينهم أن يحسبوا كمية الطاقة المعتمة المزودة من الجسيمات الافتراضية التي تملأ الفراغ الكمومي (انظر الصندوق ٧ لتفاصيل أكثر). يمكن للمرء أن يعتبر مثلاً الحقل الكهرطيسي ويقرر مقدار الطاقة الكمومية الموجودة في حجم معين من الفضاء «الفارغ» (أي بدون وجود فوتونات «حقيقية»). إن العملية الحسابية ليست صعبة: يمكن الحصول على جواب تقريبي على ظهر مغلّف. لكن الجواب لسوء الحظ غير معقول. وعند تحويله إلى كثافة كتلوية فإنه يعطي ١٠^٩٣ غرام لكل سنتيمتر مكعب موحياً بأن كشتباناً من الفضاء الفارغ يجب أن يحتوي على مليون تريليون تريليون تريليون تريليون تريليون تريليون تريليون تريليون طن! لقد تهكم ستيفان هاوكنغ Stephen Hawking مرة بأن هذا لا بد أن يمثل أكبر فشل للفيزياء النظرية في التاريخ. كيف أمكن أن نخطئ بهذا الشكل؟

وبمواجهة مثل هذا الإحراج الخطير تسارع الفيزيائيون لإيجاد تفسير. قد يكون هناك نوع من آلية حذف تعمل. فالحقل الكهرطيسي واحد فقط من حقول عدة في الطبيعة حيث تقدم بعض الحقول الأخرى طاقة معتمة ***سالبة***. وربما كان هناك تناظر عميق يعمل بحيث تعدّل الموجبات والسالبات بعضها بعضاً تماماً. وفي الحقيقة يوجد مثل هذا التناظر: إنه **التناظر الفائق**. المشكلة هي أننا نعلم أن التناظر الفائق ينكسر في العالم الحقيقي وما لم يكن التناظر تاماً فلن يلغي السالب والموجب بعضهما بعضاً. لقد جربت أفكار عدة أخرى و لكنها بدت كلها مختلقة. وبالرغم من ذلك فقد أمكن الاعتقاد – وقد اعتقد من قبل معظم الفيزيائيين وعلماء الكون – أن آلية فيزيائية معينة هي التي دفعت قيمة الطاقة المعتمة (للتنافر الكوني) إلى الصفر تماماً[٢٠].

تحطّمت مثل هذه الآمال تماماً عندما اكتشف الفلكيون أن الطاقة ألمعتمة ليست بعد كل هذا صفراً. أتى هذا الاكتشاف كصدمة كبيرة. كانت قيمة كثافة كتلة الطاقة المعتمة التي قاسها الفلكيون أقل ب ١٠ ^١٢٠^ من القيمة «الطبيعية» التي تم الحصول عليها بتطبيق النظرية الكمومية على الجسيمات الافتراضية في الفراغ (انظر الصندوق ٧). عندما بدت قيمة الطاقة المعتمة صفراً كان من المقبول على الأقل أن آلية ما لم تكتشف بعد ربما تعمل على إلغاء القيمة تماماً. ولكن كما أكد ليونارد ساسكند Leonard Susskind [٢١] فإن آلية تلغي إلى جزء من ١٢٠ للقوة ١٠ ثم تفشل أن تلغي بعد ذلك هي شيء مختلف تماماً. ولإعطاء القارئ فكرة عن مقدار التلفيق الذي يعنيه هذا الإلغاء دعني أكتب الرقم ١٠^١٢٠^ بكامل بهائه:

1,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,

000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,

000,000,000,000,000,000,000,000

ولذا يعمل التلفيق الكبير[٢٢] بروعة (إن لم يكن بصورة سحرية) ل ١١٩ قوة عشرة ولكنه ***يفشل*** عند القوة ١٢٠.

مهما يكن هناك من طاقة معتمة – وربما تكون مجرد الطاقة «الطبيعية» للفضاء الفارغ – فإنها خطيرة. وفي الحقيقة يمكن أن تكون أخطر المواد المعروفة للعلم. لقد أشار ستيفان واينبرغ Steven Weinberg منذ حوالي عشرين عاماً مضت أنه لو كان مقدار الطاقة المعتمة أكبر قليلاً من القيمة الملاحظة لفشلت عملية تشكل المجرات[٢٣]. تتشكل المجرات بالتجمع البطيء للمادة تحت تأثير الثقالة الجاذبة. إذا عوكس هذا الاتجاه بقوة تنافر كونية قوية بما يكفي فمن غير الممكن للمجرات أن تنمو بشكل نظامي. وكما أشرت لذلك سابقاً فبدون مجرات

ربما لم يكن هناك نجوم أو كواكب أو حياة. ولذا فإن وجودنا يعتمد على كون الطاقة المعتمة غير كبيرة جداً. ويكفي عامل عشرة لاستبعاد الحياة: لو احتوى الكون على طاقة معتمة أكبر بعشر مرات من الواقع لطار مبتعداً عن بعضه بعضاً بسرعة عالية جداً بحيث لا تتشكل المجرات. وربما يبدو عامل ١٠ هامشاً واسعاً ولكن قوة ١٠ على مقياس ١٢٠ قريبة جداً. إن العبارة التي تقول بأن «الحياة تتوزان على حد سكين» مبالغ فيها في هذه الحالة : إذ لا يمكن لأية سكين في الكون أن تمتلك حافة ناعمة كهذه[٢٤].

الصندوق ٧ الطاقة المعتمة والفراغ الكمومي

يتنبأ الميكانيك الكمومي بأنه حتى الفضاء الفارغ مملوء بطاقة غير مرئية. وهنا لماذا: تصور نواساً يتألف من كرة معلقة بوتر. عندما يتأرجح النواس فإنه يمتلك نوعين من أنواع الطاقة: طاقة حركية (طاقة الحركة) وطاقة كامنة (الطاقة التي تكتسبها الكرة مع ارتفاعها فوق أخفض نقطة من تأرجحها). وللنواس طاقة تعادل الصفر عندما يكون وضعه شاقولياً وتكون الكرة معلقة في حالة السكون عند أخفض نقطة.

لكن الميكانيك الكمومي يغير هذه الصورة البسيطة. فمبدأ عدم التأكد لهايزنبرغ يمنع الكرة من أن تمتلك حركة محددة بدقة ووضعاً محدداً بدقة في الوقت نفسه: فهناك مقايضة بينهما من ناحية عدم التأكد (انظر الصندوق ٤). إذا كانت الكرة قرب النقطة الأخفض وبالتالي كانت الطاقة الكامنة منخفضة إلى الصفر تقريباً فهي ستمتلك عدم تأكد كبير في حركتها وبالتالي لا يمكن أن تمتلك طاقة حركية تساوي الصفر. وبالمقابل إذا كانت الكرة في حالة سكون تقريباً – أي بطاقة حركية قريبة من الصفر – فإنها ستمتلك عدم تأكد كبير بالنسبة لوضعها الشاقولي وستمتلك طاقة كامنة. وتظهر عملية حسابية دقيقة أن هاتين المساهمتين الكموميتين للطاقة تنتجان

المحصلة نفسها التي تدعى طاقة النقطة- صفر للنواس. وتعتمد قيمتها على التردد الطبيعي لتذبذب النواس: فكلما كان التردد أسرع كلما زادت قيمة طاقة النقطة - صفر.

كل الأنظمة الكمومية التي يمكنها أن تتذبذب - مثل ذرات في شبكة بلورية أو جزيئات ثنائية الذرة - تمتلك طاقة نقطة - صفر لا يمكن خفضها. وحتى الموجات الكهرطيسية تمتلط طاقة النقطة - صفر. وليس هذا مدهشاً: فالحركة الموجية ترددية. ويمكن للموجات الكهرطيسية أن تمتلك أي طول من أطوال الموجة ولكل طول من أطوال الموجة طاقة النقطة - صفر الخاصة بها والتي توجد حتى لو لم يكن هناك فوتونات. وكلما نقص طول الموجة كلما ازداد تردد الموجة و ازدادت طاقة النقطة - صفر المتعلقة بها.

ومن السهل إجراء حساب بسيط يجمع طاقة النقطة - صفر لكل أطوال الموجات المحتملة. ويجب اتخاذ قرار أين يوقف هذا الجمع لأن هناك عدداً لانهائياً من أطوال الموجات. (يمكن تمثيل الحقل الكهرطيسي على أنه مجموعة لا متناهية من الهزازات) وتمتلك الموجات المتناهية في الصغر كمية لا متناهية من الطاقة. وإذا جمعت الجميع فستحصل على الجواب بأن الفراغ يحتوي كمية لا متناهية من طاقة النقطة - صفر الكمومية. إن الموضع الملائم لإيقاف المحصلة هوعند طول بلانك Planck. لأن طاقة النقطة - صفر عند هذا التردد كبيرة جداً بحيث أنها تبدأ بحني المكان بأشكال غريبة. ويعطي التوقف عند تلك المرحلة قيمة طبيعية لكثافة الطاقة المعتمة - طبيعية لأنه لم تقحم أية مقادير في النظرية سوى ثوابت الطبيعة G و h و c والتي تدخل في النظرية على أية حال. وبالتعبير عنها ككثافة كتلة فإن القيمة التي نحصل عليها من مثل هذا الجمع هي ١٠ ^٩٣^ غرام لكل سنتمتر مكعب وهو مقدار هائل مقارنة بقيمة الطاقة المعتمة المقاسة - فقط ١٠ ^٢٨^ غرام لكل سنتمتر مكعب.

من الممكن منطقياً أن تتآمر قوانين الفيزياء لتخلق إلغاء تاماً لكنه غير كامل. لكنها ستكون عند ذلك مصادفة غير عادية أن يتم ذلك المستوى من الإلغاء – ١٠ للقوة ١١٩ – بمجرد الصدفة لتكون ما يلزم لخلق كون ملائم للحياة. ما مقدار المصادفة التي يمكن لنا أن نقبل بها ضمن تفسير علمي؟ إن أحد المقاييس لما يعنيه هذا يمكن أن يعطى بمثال قذف عملة معدنية: إن احتمال $١٠^{١٢٠}$ إلى الواحد يعادل الحصول على الرأس لعملة معدنية ليس **أقل من ٤٠٠ مرة على التوالي**. إذا كان وجود الحياة في الكون مستقلاً تماماً عن آلية التلفيق الكبيرة – إذا كان مجرد صدفة – فإن هذه هي الاحتمالات ضد وجودنا هنا. ويبدو مثل هذا المستوى من المصادفة كبيراً جداً لكي نتقبله.

ولكن ما البديل؟ هناك بالفعل طريقة أخرى لتفسير القيمة الضئيلة للطاقة المعتمة وربما كل «المصادفات» الأخرى الملائمة في الفيزياء وعلم الكون ولكنها تمثل ابتعاداً كبيراً عن الطريقة التي اعتدنا على السير عليها في العلم وتصيب العديد من العلماء بالذعر. غير أنها قد تكون كما سنرى في الفصل اللاحق الجواب الوحيد.

نقاط رئيسة :

- يعتمد وجود الحياة كما نعرفها بشكل دقيق على خصائص محظوظة ظاهرياً لقوانين الفيزياء وبنية الكون.
- المثال الشهير المبكر على كيفية تناغم قوانين الفيزياء بشكل جيد مع وجود الحياة هو إنتاج الكربون في النجوم والذي يتطلب «مصادفة» رقمية لإنتاج طنين نووي عند الطاقة الصحيحة تماماً
- تدخل القوى الأربعة للطبيعة كلها في قصة الحياة. وسيجعل تغيير شدة أية قوة منها حتى ولو بمقدار ضئيل الكون عقيماً أي بدون حياة.

- لا يمكن لكتل بعض الجسيمات الأساسية أن تكون مختلفة عما هي عليه بدون تعديل مسألةِ الحياة في الكون.
- القيمة المقاسة للطاقة المعتمة هي القوة ١٢٠ للأس ١٠ وهي أقل من قيمتها الطبيعية لأسباب لا تزال سراً مغلقاً، ولو كانت قوة الأس عشرة هي ١١٩ بدلاً من ١٢٠ لكانت النتائج مميتة.

الفصل الثامن

هل يحل الكون المتعدد معامل غولديلوك Goldilock

قد نكون الرابحين في يانصيب كوني

أدرك العلماء منذ زمن بعيد أن الكون يبدو ملائماً للحياة بطريقة غريبة ولكنهم فضّلوا إهمال ذلك. شكّل هذا إحراجاً لهم – لأنه بدا شبيهاً جداً بعمل مصمم كوني. لقد نظر إلى حجة المبدأ الإنساني بازدراء على أنها اعتقاد شبه ديني. ويقول أندري ليند إن شخصاً واحداً فقط عمل على هذا الموضوع في الاتحاد السوفييتي القديم[1]. لقد تغيرت الحال اليوم. لقد سببت فكرة الكون المتعدد – التي أتاحت فرصة لتفسير ملاءمة الكون الغريبة للحياة على أنها تأثير اختيار مباشر دون اللجوء إلى العناية الإلهية – هذا الاختلاف.

تقول نظرية الكون المتعدد أن ما كنّا ندعوه «الكون» هو في الحقيقة ليس كذلك. إنه بالأحرى جزء ضئيل جداً من نظام أكبر وأكثر تعقيداً – مجموعة من «الأكوان» أو من مناطق كونية معينة (مثل «الأكوان الجيبية» التي تظهر في نظرية التضخم المستمر). تصور أن تختلف تلك الأكوان أو المناطق في خاصة مهمة مثل الحياة. من الواضح عند ذلك أن الحياة ستنشأ فقط في تلك الأكوان أو المناطق الكونية التي تلائم ظروفها نشوء الحياة. أما الأكوان التي لا تستطيع دعم الحياة فستمر دون أن تلاحظ. ولذا فليس من المستغرب أن نجد أنفسنا موجودين في كون ملائم للحياة، لأنه لا يمكن

لمراقبين مثلنا أن يظهروا في كون عقيم. وإذا كانت الأكوان تختلف بشكل عشوائي فإننا سنكون الفائزين في يانصيب كوني ضخم ولّد الانطباع بوجود تصميم. ومثل الفائزين العديدين لليانصيب الوطني، فقد نعزو خطأً أهمية بالغة من نوع ما لفوزنا بالجائزة (كأن تكون سيدة الحظ قد ابتسمت لنا أو شيئاً من هذا القبيل) بينما يتلخّص نجاحنا في الحقيقة بعامل الحظ أو الصدفة فقط.

دعني أقدم مثالاً يعمل فيه هذا النوع من النقاش بنجاح. انس موضوع التضخم للحظة وافترض أن الكون بدأ بانفجار كبير تقليدي. تصور أنه بدل أن يكون متجانساً وناعماً فإن شدته اختلفت بشكل عشوائي من مكان لآخر (على مقياس ضخم). في بعض المناطق سيعوز الانفجار القوة لنشر المادة خارجاً: ستنهار هذه المناطق بسرعة مشكّلة ثقوباً سوداء ضخمة ولا توجد حياة هناك. وفي مناطق أخرى سيكون الانفجار كبيراً جداً بحيث تنتشر المادة بسرعة كبيرة جداً بحيث لا تنشأ المجرات أو النجوم. وهناك لا توجد حياة أيضاً. ولكن هنا وهناك وبفعل المصادفة فقط ستظهر منطقة محظوظة مثل كوننا يكون فيها معدل التمدد ضمن المقدار المناسب تماماً: بطيء بما يكفي ليسمح بكمية محددة من تجمع المادة بالثقالة (لتشكل المجرات والنجوم) ولكنه ليس بطيئاً إلى حد أن ينهار بشكل كارثي (إلى ثقب اسود). ويجب أن لا نستغرب وجودنا في منطقة كونية منظّمة جيداً كهذه حتى ولو كانت استثنائية وحتى لو نشأت بالمصادفة وحدها ضد احتمالات هائلة – لأن الظروف ضمنها هي بالضبط الظروف الملائمة للحياة.

لجأ علماء الكون منذ ثلاثين عاماً إلى هذا النوع من تأثير الاختيار الإنساني كتفسير لكون تمدد بسرعة وتجانس مناسبين تماماً للحياة. ومع ذلك يفسر سيناريو التضخم هذه الخصائص المشجعة للحياة آلياً بنظرية فيزيائية، ولذا أهمل التفسير الإنساني. لكن المشكلة لم تحل تماماً إلى الآن لأن المرء لا زال بحاجة لأن يفترض المستوى الصحيح من الاضطرابات الأولية للكثافة لخلق المجرات، تلك الاضطرابات التي ربما نشأت من تذبذبات كمومية خلال

مرحلة التضخم. أما لماذا تمتلك التذبذبات في كوننا السعة التي تمتلكها فهو أمر غير معروف. وقد يكون الجواب نتيجة محتّمة لنظرية مستقبلية أو قد يكون لأن قوة التذبذبات تختلف من منطقة لأخرى وفي تلك الحالة لا يزال هناك قدر من الاختيار الإنساني.

بنية الكون شيء

ولكن هل يمكن لقوانين الفيزياء أن تختلف

هذا كله حسن وجيد عندما يتعلق الموضوع ببنية الكون ولكن ماذا عن الأمثلة الأخرى للتناغم الجيد الذي بينته في الفصل السابق، مثل صدفة طنين الكربون الشهيرة لهويل – خصائص يبدو أنها تتطلب قيماً دقيقة للقوى النسبية للقوة الضعيفة والقوة الكهرطيسية؟ أو لكتل الجسيمات تحت الذرية المختلفة؟ ولشرح هذه «المصادفات» اللاحقة إنسانياً – أي بحسب مبدأ اختيار الانسان المراقب – فإن على ***قوانين الفيزياء نفسها*** أن تختلف من منطقة كونية معينة إلى أخرى. هل هذا معقول؟ إذا كان الأمر كذلك فكيف أمكن له أن يحدث؟

يمكننا أن نكسب بعض التبصر بالموضوع من التاريخ. بعد أن بين كوبرنيكوس Copernicus أن الكواكب تدور حول الشمس حاول كيبلر Kepler وآخرون أن يعطوا معنى للعلاقات الرقمية الموجودة في النظام الشمسي. وفي تلك الأيام كانت الكواكب المعروفة ستة فقط وقد قيست مسافاتها عن الشمس إلى دقة معقولة. وكان من الطبيعي السؤال لماذا ستة كواكب؟ ولماذا تلك المسافات؟ هل هناك مبدأ عميق من مبادئ الطبيعة يشبه القانون الرياضي يمكنه أن يعطي الأرقام الملحوظة؟ جاء كيبلر بفكرة أصيلة مبنية على أساس الأشكال الهندسية القديمة. تخيل كيبلر مدارات الكواكب مرتبطة بكرات داخل كثيرات أضلاع كاملة موجودة ضمن بعضها بعضاً، متّبعاً التقليد الغنوصي للفيثاغورثيين الذين حاولوا منذ ألفي عام أن يفسّروا الكون بحسب التناغم الموسيقي والهندسي. وبعد ذلك في القرن الثامن عشر نشر الفلكي الألماني يوهان بود Johann Bode صيغة رقمية بسيطة (عرفت فيما بعد بقانون بود)

أعطت مسافات الكواكب الستة المعروفة آنذاك عن الشمس كلها إضافة لكوكب واحد «مفقود» حيث يوجد الحزام النجمي والذي اكتشف فيما بعد.

تبدو هذه المحاولات لوضع النظام الشمسي في نموذج رياضي أنيق وجميل اليوم سخيفة وتبين أن توافق صيغة بود الظاهري مع المسافات الكوكبية المقاسة عبارة عن مصادفة محظوظة. ونعلم الآن أن ترتيب الكواكب هو غالباً صدفة تاريخية. تشكلت الكواكب من سديم غازي وغبار دوار أحاط بالشمس الأولية. كان هناك في البداية عدد من الكواكب أكبر من التسعة التي نعرفها اليوم. لقد ارتطم بعضها ببعض واندمج ورمي بعضها خارج النظام الشمسي كلية. لقد تغيرت مدارات الكواكب كلها بعض الشيء خلال ال ٤,٥ بليون سنة منذ تشكل النظام الشمسي. إن الفكرة هي أن ما انتهينا إليه هو نتيجة ظرف فوضوي – كمية المادة في السديم الشمسي والقوى المعقدة التي جعلت الكواكب تتجمد حيث فعلت ذلك واضطرابات النجوم وسحب الغاز القريبة. ومن الواضح أنه لاشيء أساسي حول الكواكب ومسافاتها: فهذه الخصائص هي نتيجة **الصدفة** فقط. ونعرف الآن عن نظم كوكبية أخرى حول نجوم أخرى لها ترتيب دوراني مختلف تماماً. لذا فإن ما اعتقد مرة أنه قانون عميق من قوانين الطبيعة تبين أنه مجرد صدفة متجمدة في التاريخ، بالرغم من أنها فيما يتعلق بنا هامة (لو لم تمتلك الأرض المدار نفسه تقريباً لما أمكن السكن فيها).

وقياساً على الدرس من النظام الشمسي فمن المعقول التساؤل فيما إذا كانت الخصائص الأخرى التي نعتبرها الآن قانونية قد يتبين فيما بعد أنها مجرد مصادفات تاريخية. هل من الممكن أن تكون بعض النظم في الطبيعة والتي نسميها «قوانين الفيزياء» هي في الواقع بقايا متجمدة من تشكل الكون؟ إذا كانت كذلك فمن المعقول أن نفترض أن تمتلك مناطق أخرى من الكون أو أكوان جيبية أخرى قوانين مختلفة بالطريقة نفسها التي تمتلك فيها نظم نجمية أخرى ترتيبات كوكبية أخرى.

«ثوابت» الطبيعة على الأقل قد تختلف

دعني أكرّرنقطة هامة. تمتلك قوانين الفيزياء خاصتين قد تختلفان من حيث المبدأ من كون لآخر. هناك أولاً الشكل الرياضي للقانون وهناك ثانياً «ثوابت» مختلفة تدخل في المعادلات. يقدّم قانون نيوتن بمقلوب التربيع مثالاً على ذلك. فالشكل الرياضي يربط قوة الثقالة بين جسمين بالمسافة بينهما. لكن ثابت ثقالة نيوتن G يدخل أيضاً في المعادلة: فهو يحدّد القوة الفعلية للقوة (انظر الصندوقين ١ و٦). المثال الثاني هو علاقة ديراك Dirac للإلكترون. وهي أيضاً تمتلك شكلاً رياضياً خاصاً يصف حركة الإلكترون بحسب الميكانيك الكمومي والنسبية. وهي تحتوي أيضاً على ثلاثة ثوابت: سرعة الضوء وكتلة الإلكترون وثابت بلانك. وعندما نخمّن فيما إذا كانت قوانين الفيزياء تختلف في منطقة كونية أخرى يمكننا تخيل احتمالين. الأول هو أن شكل العلاقة الرياضية لا يتغير ولكن عاملاً أو أكثر أخذ قيمة مختلفة[٢]. والاحتمال الآخر الأكثر شدة هو أن ***شكل القانون*** قد اختلف. وسأحصر النقاش في الاحتمال الأول.

يمتلك **النموذج القياسي** لفيزياء الجسيمات عشرين متحولاً غير ثابت. وهي أرقام رئيسة مثل كتل الجسيمات وشدات القوى التي لا يمكن التنبؤ بها من النموذج نفسه ولكن يجب قياسها بالتجربة وإدخالها في النظرية يدوياً. ولا أحد يعرف فيما إذا كانت القيم المقاسة لهذه المتحولات ستفسر يوماً ما بنظرية موحدة أعمق تذهب إلى أبعد من النموذج القياسي أو فيما إذا كانت منحولات حرة بشكل أصيل لا تحدد بأية قوانين أعمق. وإذا كان الرأي الأخير صحيحاً فإن الأرقام ليست مقدسة وثابتة ولكنها يمكن أن تأخذ قيماً مختلفة دون أن تتعارض مع أية قوانين فيزيائية. ويشير الفيزيائيون تقليدياً إلى هذه المتحولات على أنها «توابت الطبيعة» (انظر الصندوق ٦) لأنها تبدو نفسها خلال الكون الملاحظ. ومع ذلك فليست لدينا أية فكرة لماذا هي ثابتة و(بحسب معرفتنا الحالية) ليس هناك مبرر حقيقي للاعتقاد بالنسبة لمقياس أكبر بكثير

من الكون الملاحظ أنها ثابتة. وإذا أمكن أن تأخذ قيماً مختلفة يبرز السؤال ماالذي يحدّد القيم التي تمتلكها في منطقتنا من الكون.

يأتي جواب محتمل من علم كون الانفجار الكبير. ولد الكون بحسب النظرية التقليدية وقيم هذه الثوابت معطاة من البدء وللأبد من اللحظة الأولى. لكن بعض الفيزيائيين الآن يقترحون أن هذه القيم الملاحظة ربما تولدت من نوع من العمليات الفيزيائية المعقدة أثناء الغليان العنيف للكون الأولي جداً. وإذا كانت هذه الفكرة صحيحة عموماً فيتبع من ذلك أن العمليات الفيزيائية المسؤولة ربما ولّدت قيماً **مختلفة** عن تلك التي نلاحظها وربما ولدت بالفعل قيماً مختلفة في مناطق أخرى من الكون أو في أكوان أخرى. وإذا استطعنا السفر بمعجزة من منطقتنا الكونية إلى منطقة أخرى تبعد تريليون سنة ضوئية عن أفقنا فقد نجد مثلاً، أن كتلة الإلكترون أو شحنته مختلفة. وفقط في تلك المناطق الكونية حيث تكون لكتلة الإلكترون وشحنته القيمة نفسها تقريباً كما في منطقتنا يمكن للمراقبين أن يظهروا ليكتشفوا كوناً ملائماً للحياة بشكل جيد. وبهذه الطريقة فالتناغم الجيد الملائم للحياة بشكل مدهش لمتحولات النموذج القياسي يفسر بأناقة على أنه تأثير اختيار المراقب.

أصل الكتلة ولماذا يمكن لها أن تختلف

قدم لي عندما كنت طالباً جدول بكتل الجسيمات تحت الذرية المختلفة وقيل لي ببساطة «هذا ما هي عليه». ورفضت الأسئلة لماذا هذه القيم وليست قيماً أخرى على أنها هراء سحري. أما اليوم فمن المقبول طلب نوع من التفسير بالنسبة للكتلة. وفي الحقيقة يوجد لدينا مثل هذا التفسير: إنه يدعى آلية هيغز Higgs. لقد ذكرته مروراً في الفصل الرابع بالعلاقة مع نظرية القوة الكهروضعيفة. إنه جزء أساسي من **النموذج القياسي**. وعلى نطاق ضيق تسير نظرية هيغز على الشكل التالي. لا تمتلك الإلكترونات والكواركات كتلاً ذاتية وبدلاً من ذلك فإنها تحصل على كتلتها بالتفاعل مع حقل غير مرئي

يجتاح الكون بكامله مثل نظرية الأثير القديمة. إنه حقل هيغز الذي يعطي هذه الجسيمات كتلها. وتعتمد قيمة الكتلة التي تنتهي بها على مدى حساسية هذه الجسيمات لحقل هيغز – مدة قوة ***تزاوجها*** معه باستخدام المصطلح الصحيح. ولا تتفاعل الفوتونات مع حقل هيغز على الإطلاق ولذا فهي تبقى بدون كتلة. وتتزاوج الكواركات مع حقل هيغز بقوة أكبر بكثير من الإلكترونات: يحسّ الكوارك العلوي بحقل هيغز بشكل أكبر ولذا فهو ينتهي إلى كتلة أكبر بمئات آلاف المرات من الإلكترون. وتحصل جسيمات W وZ اللتان تيسّران القوة الضعيفة أيضاً على كتلتيهما الكبيرتين بالتزاوج مع حقل هيغز[٣].

اقتنع معظم الفيزيائيين النظريين بوجود حقل هيغز حتى ولو كنا لا نستطيع تمييزه مباشرة. وتركّزت آمالهم في العثورعلى دليل عليه على صادم هاردون الكبير Large Hardon Collider (LHC) وهو المسرّع الضخم الذي يبنى حالياً في سيرن CERN. والخطة هي أن يصادم (LHC) بروتوناً بمضاد بروتون عند طاقة عالية لصنع جسيم هيغز بحلول عام ٢٠١٠. وكما يمتلك الحقل الكهرطيسي جسيماً كمومياً يرتبط به على هيئة فوتون يجب أن يكون لحقل هيغز جسيم كمومي متعلق به أيضاً يدعى بوزون هيغز Higgs boson. [٤] ولكن بينما يكون الفوتون بدون كتلة يتوقع أن يكون بوزون هيغز ذا كتلة ضخمة أكبر ب ١٨٠ مرة من كتلة البروتون – وهذا هو سبب عدم نجاح تصنيعه تجريبياً من قبل (يمتلك جسيم هيغز كتلته الكبيرة بالتفاعل مع حقله الخاص به).

لنعد في هذه الأثناء إلى مقعد المنظّر. لا أزال بحاجة لتفسير كيف يمكن لكتل الجسيمات أن تختلف من منطقة كونية لأخرى. إن إحدى الطرق الواضحة هي فيما إذا كانت قوة حقل هيغز تختلف من منطقة لأخرى. هناك أسباب لماذا يمكن لهذا أن يحدث. نشر عدد من النماذج الرياضية التي تربط

حقل هيغز بالنواحي الأخرى في الفيزياء لتعطي مثل هذه التغير، ولكني لا أريد أن أخوض في التفاصيل التقنية هنا. أريد فقط أن أؤسس النقطة العامة وهي أنه إذا تغير حقل هيغز من مكان لآخر فإن كتلة الإلكترون وكتلة الكوارك ستتغيران أيضاً. هنا ستكون كتلة الإلكترون m وهناك سيكون لها كتلة أخرى 'm. والأكثر من ذلك فالنسبة بين كتلة البروتون وكتلة الإلكترون ستختلف أيضاً. وعلى الرغم من أن كتلة الكوارك والإلكترون تتغيران بالتوازي، فإن البروتون هو تجمع ثلاثة كواركات دوارة – حزمة صغيرة تحتوي كثيراً من الطاقة الحركية والكهربائية والغلونية أيضاً. وفي الحقيقة فإن معظم الكتلة الكلية للبروتون هي على شكل هذه الطاقة الإضافية. ولن تتبع هذه المساهمة الاختلافات في كتلة الإلكترون والكوارك. ولذا لو تضاعف حقل هيغز في القوة مثلاً فإن كتلة الإلكترون ستتضاعف بينما سيصبح البروتون أثقل بقليل فقط. من المهم إذن أن نسبة كتلة الإلكترون إلى كتلة البروتون ستتغير، وإذا تغيرت بما يكفي فإنها سترمي خارجاً التناغم الجيد ولكن الهش المشجّع للحياة، عن طريق التغيير الكبير في التفاعلات النووية في الكون الأولي وفي النجوم.

يفسر كسر التناظر كيف يمكن لقوانين بسيطة أن تنتج عالماً معقداً

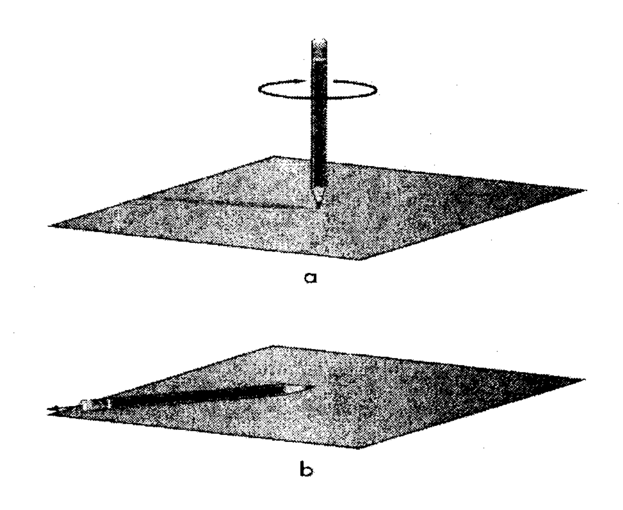
هناك سبب عام جداً لتوقع وجود اختلافات في بعض المتحولات أو«الثوابت» الرئيسة في الفيزياء. إنه يدعى ***كسر التناظر***. وهذا مثال بسيط. إن أيقونة العلم الحديث هي اللولب المزدوج – وهو الشكل اللولبي لجزيء الحياة الدنا DNA الذي اشتهر من كتاب جيمس واطسون James Watson الأكثر مبيعاً[٥]. يحتوي الدنا في خلاياك البصمة الجينية– الجينوم – الذي يجعلك على ما أنت عليه. جزيئات الدنا كلها – ليس في الإنسان فقط وإنما

في أشكال الحياة المعروفة كلها – ملفوفة على شكل لولب. وبشكل أكثر تحديداً فإن لها شكل لولب يلتف نحو اليمين. تلتف الأدراج الحلزونية في القلاع القديمة عندما تصعدها أحياناً نحو اليسار وأحياناً نحو اليمين. أما الدنا فتلتف دوماً نحو اليمين.

ليس هناك سبب أساسي لعدم إمكانية استخدام الحياة لدنا تلتف نحو اليسار. إنها ستكون مطابقة للأولى كيميائياً ومستقرة مثلها ولا شيء فيها سيخالف أي قانون من قوانين الفيزياء. ويعود هذ إلى أن قوانين الكهرطيسية – المسؤولة عن بناء الجزيئات – لا تهتم إطلاقاً بالتمييز بين اليسار واليمين. وبالتعبير بحذر أكثر يقول الفيزيائيون إن للكهرطيسية تناظراً مرآتياً. وبالتأكيد لو حاولت الحياة استخدام الشكل اليميني واليساري معاً لدخلت في مشكلة ولكن ليس هناك سبب خاص لماذا يكون اليمين هو اليمين. إن أفضل تخمين هو أنه منذ زمن بعيد عندما كانت الحياة في طور التشكل (بطريقة ما) من اللاحياة كسرت مصادفة جزيئية عشوائية التناظر وما إن يجرى اختيار عشوائي حتى يتوقف عند ذلك. ويجب أن يتوقف حتى تستطيع الحياة بأكملها أن تستخدم معياراً واحداً ولكن هناك احتمال ٥٠% أن تذهب في الاتجاه الآخر[٦].

ومثل الدنا، لا يظهر العديد من الأنظمة الفيزيائية التناظر المؤسس للقوى التي تشكلها بوضوح: وليس من العسير العثور على أمثلة على ذلك. فالأرض تدور حول الشمس باتجاه مخالف لعقارب الساعة عندما ينظر إليها من فوق نصف الكرة الشمالي، ولكن قوانين نيوتن في الحركة والثقالة لا يهمها مطلقاً أكان الدوران باتجاه عقارب الساعة أم عكسه – فهي متناظرة. ولو دارت الأرض حول الشمس في الاتجاه المعاكس لبقيت قوانين الفيزياء صالحة تماماً.

ولكن نظماً فيزيائية أخرى تحترم التناظر المؤسس بشكل تقريبي على الأقل. فالشمس على سبيل المثال دائرية تماماً تقريباً عاكسة حقيقة أن قوة الثقالة لا تميز اتجاهاً في المكان عن اتجاه آخر. ويمكن القول بدقة أكبر إن الثقالة تناظرية أثناء الدوران. وفيما إذا كان حال النظم الفيزيائية يحترم التناظرات المؤسسة في قوانين الفيزياء أم لا يثير أسئلة حول الاستقرارية. فقد يكون التناظر المحطّم حالة أكثر استقراراً. ويظهر الشكل ٢٤ توضيحاً جيداً على ذلك. تصور أن تمسك قلم رصاص حاد شاقولياً تماماً بحيث يكون رأسه على سطح أفقي. عندما تتركه فإنه يسقط ويستلقي على السطح. وليست هناك أهمية عميقة للوضعية النهائية التي يتّخذها القلم: فهي عشوائية[٧]. وإذا كررت العملية آلاف المرات فستحصل على آلاف الوضعيات المختلفة موزعة بالتساوي تقريباً حول المركز. ويعود السبب إلى أن حقل ثقالة الأرض الشاقولي لا يهتم بالاتجاهات الأفقية فكل اتجاه بالنسبة له يشبه الآخر. وبالتعبير عن هذا بدقة أكثر فإن حقل الثقالة تناظري أثناء الدوران حول المحور الشاقولي المحدد من قبل وضعية قلم الرصاص الشاقولية الأصلية. لكن الحالة النهائية لقلم الرصاص وهو ملقى أفقياً يكسر ذلك التناظر الدوراني باختياره اتجاهاً أفقياً معيناً. إن الحالة التي تتقيد بالتناظر المؤسس لقوانين الفيزياء (القلم الشاقولي) غير مستقرة ولذا يكسر القلم التناظر ويسقط إلى حالة مستقرة لكنها لا تظهر التناظر (القلم الأفقي). وبذلك يقايض القلم التناظر بالاستقرارية. لا يزال التناظر موجوداً في القوانين المؤسسة ولكن لا يمكنك تمييزه من حالة فردية. فقط من خلال تفحص مجموعة كبيرة من الحالات (آلاف أقلام الرصاص) موزعة بشكل متساو على الاتجاهات الأفقية المتوفرة سيكون التناظر الدوراني المؤسس واضحاً. تدعى مقايضة كهذه بين التناظر والاستقرار ب ***كسر تناظر تلقائي*** لأن النظام نفسه يختار (عشوائياً) كيف يكسر التناظر – فهي ليست مفروضة من تأثير خارجي.



الشكل ٢٤: كسر تلقائي للتناظر

a- قلم الرصاص الذي يقف على رأسه هو في حالة تناظرية، فهو يبدو نفسه إذا أدير حول محور شاقولي كما هو موضح. وفي هذه الحالة يظهر القلم التناظر المؤسس لحقل الثقالة الذي لا يهتم بالاتجاهات الأفقية. لكن الحالة التناظرية هي مع ذلك غير مستقرة وسيسقط القلم.

b- في الحالة الأفقية يكون القلم مستقراً ولكنه كسر تناظر حقل الثقالة باختياره اتجاهاً أفقياً محدداً كما هو موضح بالسهم. إن الاتجاه الفعلي عشوائي ولو أجريت التجربة مرات عدة فإن أماكن قلم الرصاص ستوزع نفسها حول نقطة السقوط عشوائياً: وسيظهر تجمع الأقلام التناظر المؤسس على الرغم من أن كل وضع لها يكسر هذا التناظر.

يمكن استرجاع التناظرات و البساطة

بالحرارة الشديدة

نأتي الآن إلى النقطة الهامة. يمكن «استرجاع» التناظرات المحطمة (أي تجعل واضحة) برفع درجة الحرارة. فكّر في جزيء الدنا. فوق حوالي ١٠٠ °م يبدأ الهيجان الحراري بتهديد استقراريته: فهو يبدأ بالانصهار. سخّن

الدنا إلى درجة حرارة ٢٠٠ °م وسيتفكك تماماً. وستختفي بنيته اللولبية. وستتفرّق العناصر بصورة عشوائية وتختفي كل مظاهر الترتيب. وستظهر العناصر المتحركة والمرتدّة عشوائياً بإخلاص التناظر يسار – يمين المؤسس للكهرطيسية بطريقة لا يقوم بها جزيء الدنا المركّب. ينصهر كسر التناظر حرفياً مع زيادة درجة الحرارة.

القاعدة العامة هي:

تظهر الأنظمة ذات درجة الحرارة المرتفعة تناظراً أكبر من الأنظمة ذات درجة الحرارة المنخفضة، فعندما تنخفض درجة الحرارة تتحطم التناظرات.

وسنرى قريباً أهمية هذه القاعدة في فهم طبيعة الكون، ولكنني أود أولاً أن أوضّحها بمثال أقرب لفيزياء المدرسة الثانوية لأنه شيء كلاسيكي. لقد أعلن لأول مرة من قبل بيير كوري زوج الكيميائية الشهيرة ماري كوري وهو يتعلق بالمغانط. كان من المعروف منذ زمن طويل أن الحقل المغناطيسي لقضيب من الحديد يضعف عندما يسخّن القضيب. ونصل إلى درجة حرارة حرجة تدعى درجة حرارة كوري حيث يختفي الحقل المغناطيسي من القضيب (٧٧ °م بالنسبة للحديد). ومن السهل فهم السبب. تمتلك ذرات الحديد حقولاً مغناطيسية بسبب إلكتروناتها الدوّارة. ولأسباب تتعلق بمبدأ الاستبعاد لباولي تحب الذرات أن تصفّ حقولها بالتوازي لتشكل حقولاً مغناطبسية ميكروية. وتصطفّ الحقول في قضيب مغناطيسي أيضاً وبالتالي تجمع حقولها المغناطيسية بطريقة منتظمة. ومع ذلك عندما ترفع درجة الحرارة تبدأ المغانط الصغيرة بالحركة محاولة التحرر من الاصطفاف المغناطيسي. وتميل محصلة هذا الصراع أكثر فأكثر لمصلحة الحرية مع ارتفاع درجة الحرارة وازدياد الهيجان الناتج. وفي النهاية نصل إلى نقطة حرجة تشيع فيها الفوضى وتصبح المغانط الصغيرة كلها مستقلة. وتحت هذه الظروف يكون اصطفافها عشوائياً، فليس هناك اصطفاف منتظم في أي اتجاه معين. ولذا فعلى الرغم من أن الحديد الحار مصنوع من ذرات ممغنطة فإن

محصلة الحقل المغناطيسي تصبح صفراً. إذا برّد الحديد الآن ***ببطء*** رجوعاً مروراً بدرجة حرارة كوري فيمكن للمغنطة أن تعود مرة أخرى. وتأتي المغنطة من أي حقل مغناطيسي خارجي مثل الحقل الأرضي وتصطفّ الحقول بحسب ذلك الاتجاه. ومع ذلك إذا برّد القضيب بسرعة تتجمد الحقول بحسب وجهاتها العشوائية. وضمن كل حقل فإن للمغناطيسية اتجاهاً ثابتاً ولكن القضيب على الرغم من أنه مصنوع من مادة مغناطيسية لا يملك مغنطة كلية.

ويدخل التناظر في هذه القصة بطريقة واضحة. فقوانين الكهرطيسية تناظرية أثناء الدوران (أي أنها لا تتأثر بالاتجاه في المكان). وتتقيد الحالة الممغنطة للحديد الحار بهذا التناظر: فهي لا تتجه باتجاه معين لأن لها شدة حقل تبلغ محصلته الصفر. ولكن تحت درجة حرارة كوري تدخل الحقول المغناطيسية بتلقائية مع تجمد كل مغناطيس صغير باتجاه معين. وبهذا الفعل يكسر كل واحد منها التناظر الدوراني لقوانين الكهرطيسية المؤسسة لها والتي تتحكم بتصرّف النظام. ولو برد القضيب بسرعة مجمداً بنية الحقل المصطف عشوائياً، فبالرؤية على مقياس أكبر، لا يزال التناظر الدوراني واضحاً لأن القضيب ليس ممغنطاً بشكل منتظم في أي اتجاه محدد.

لا يمكنك أن تعرف بمجرد النظر فيما إذا كان قضيب من الحديد ممغنطاً أم لا، ولكن هناك مثال آخر يتضح منه كسر التناظر في لحظة هو تجمد الماء إلى ثلج. فالطورالصلب يتجمد فجأة من الطور السائل مع هبوط درجة الحرارة خلال الصفر °م. ومرة أخرى يحطم التناظر الدوراني: فالماء السائل هو نفسه في كل الاتجاهات، بينما تشكّل البلورات الثلجية أشكالاً هندسية منتظمة ذات توضعات محددة. ويشير الفيزيائيون إلى تغير مفاجئ من هذا النوع على أنه تغير الطور.

الطريقة المفيدة للتفكير بالتناظر هي بحسب البنية والتعقيد. فكلما امتلك النظام تناظراً أكبر كلما كان أبسط وأقل تركيباً: قارن على سبيل المثال الشكل

التناظري للدائرة بمتعدد أضلاع غير منتظم. إن رفع درجة حرارة نظام فيزيائي يخفض البنية ويحطم التعقيد: فكر كم أن كوباً من الماء أبسط من كشتبان مليء بمكعبات الثلج. أو تصور أن تضع الأرض في فرن هائل ثم ترفع درجة الحرارة. أولاً ينصهر الغطاء الجليدي وقبعات أعالي الجبال ثم تحترق الغابات وتغلي المحيطات وفي النهاية تذوب الجبال وبوجود حرارة كافية سيتبخر الكوكب بكامله. إن فرناً ضخماً مليئاً بالبخار أبسط بكثير – أي يمتلك تناظراً أكثر – من البنية المعقدة للأرض. إن المبدأ العام هو: **حرارة = فقر وبرودة = غنى.**

كسر التناظر بعد الانفجار الكبير مباشرة

دعني الآن أرجع إلى علم الكون. لا يوجد فرن في الكون يمكن مقارنته بالانفجار الكبير الحار. كان الكون الأولي المبكر حاراً جداً بحيث أن كل شيء نعرفه كان حرفياً في وعاء الصهر(حسناً وعاء البخار)، فالغنى والتنوع والتعقيد للكون التي نراها اليوم جاءت كلها في المستقبل: كان التجانس هو نظام ذلك اليوم. ولذا بدأ الكون بدرجة عالية من التناظر ولكن مع تبرّده تحطم التناظر أكثر فأكثر وظهر قدر أكبر فأكبر معظمه عشوائي وتلقائي من البنى والتعقيد. حدثت هذه التحولات خلال سلسلة من الانتقال الطوري. إن السبب في أننا نستطيع تحقيق أي تقدم على الإطلاق بنظرية للكون الأولي هو بالضبط أنها كانت بسيطة جداً وقد نشأت بساطتها الأصيلة من درجات الحرارة الفائقة ومن التناظر المنتشر للطور الأولي.

من السهل فهم الاتجاه العام من البسيط إلى المعقد ومن الفقر إلى الغنى أثناء تبرد الكون من نشأته الحارة. ولكن علينا أن نذهب أبعد من ذلك وأن نعالج السؤال التالي: هل يمكن للظهور التلقائي للبنية في الكون الأولي أن يمتد إلى «ثوابت الطبيعة»؟ ألا يمكن لقيم المتحولات غيرالمحددة في **النموذج القياسي** مثل كتل الجسيمات وشدات القوى أن تكون مجرد حوادث مجمدة عشوائياً نتجت عن تحول طوري كاسر للتناظر.

دعنا نرجع إلى مثال المغناطيس. تصور رجلاً قزماً موجوداً في أعماق مغناطيس من الحديد داخل أحد الحقول[8]. إنه محاط بحقل مغناطيسي يشيرباستمرار إلى اتجاه واحد. ويشكّل هذا الحقل المغناطيسي الشامل جزءاً من كون الرجل القزم حيث يتأثر تصرّف الشحنات الكهربائية والمغانط كلها في محيطه به. وإذا حسب الرجل قوانين الكهرطيسية ضمن كونه الصغير فسيكون مضطراً ليدخل فيها هذا الحقل المحيط به. ومن الواضح أن هذه القوانين لن تكون متناظرة أثناء الدوران لأن للحقل اتجاهاً معيناً. ونستطيع أن نرى بعين الخالق أن هذا الرجل وجّه بالاتجاه الخطأ. إن ما يعتقده على أنه قانون أساسي في كونه وهو قانون يكسر التناظر الدوراني يمكننا أن نراه على أنه مجرد حادثة مجمدة تنحصر خصائصها بذلك الحقل المعين.

ماذا لو لم يمتلك القضيب الحديدي مغنطة كلية وإنما مجرد بنية حقلية متوضعة بشكل عشوائي؟ يمكن للرجل القزم عندها إذا ابتعد بما يكفي أن يعبر إلى حقل مجاور. ولكنه سيصدم لأن الحقل المغناطيسي في «الكون المجاور» سيشير إلى اتجاه مختلف وسيحتاج إلى مجموعة مختلفة من القوانين. وإذا زار حقولاً بما يكفي واختبر التوضع العشوائي لحقول محلية عدة، فقد يقتنع بأن قوانينه في الكهرطيسية ليست القوانين الأساسية الصحيحة ولكنها داخلة في حادثة مجمدة (اتجاه الحقل) كسرت تناظراً أساسياً هاماً (تناظراً دورانياً). وسوف يستنتج أن ما اعتبره قانوناً أساسياً هو في الحقيقة مجرد قانون «فعّال» يوجد تحته قانون كهرطيسي أساسي حقاً متناظر دورانياً. وإذا كان يعرف من الفيزياء ما يكفي فقد يكون قادراً على استنتاج أنه لو سخّن كونه والحقول المجاورة له فوق درجة حرارة كوري فإن كسر التناظر هذا سينهار وسوف تندمج هذه الحقول. وسيظهر التناظر الكامل للقانون الصحيح والأساسي للكهرطيسية نفسه في كل مكان.

تمثل هذه القصة استعارة فعّالة لعلم الكون الأولي. وهي تقترح أنه عندما يتعلق قانون فيزيائي معروف بتحطيم بعض التناظر فقد يبدو أن القانون

حقيقة هو قانون درجة حرارة منخفضة أو طاقة منخفضة ***فعّال*** صالح ضمن حقل كوننا الخاص ولكنه مختلف عشوائياً في حقول كونية أخرى. ومثل الرجل القزم داخل المغناطيس فقد يكون لدينا نحن أيضاً «كون مجاور» يتحطم التناظر فيه بشكل مختلف وتكون فيزياء الطاقة المنخفضة التي تنشأ عنه مختلفة أيضاً. وبالرجوع إلى الوراء إلى المرحلة الأولية الحارة جداً التي تلت الانفجار الكبير فإن التناظر واضح في كل مكان والحقول الكونية غير متمايزة بعضها عن بعض. ويمكن توقع بنية حقلية من نوع ما في أي نموذج كوني تقريباً حيث يحدث تبريد من انفجار كبير حارمع كسر للتناظر. وإذا كان كسر التناظر يحدد متحولاً أو أكثر من المتحولات التي ينبغي أن تنغم جيداً لتنشأ الحياة فسيكون لدينا إذن تفسير جاهز لعامل غولديلوك Goldilock. وفقط في حقول تكون فيها قوانين الطاقة المنخفضة ودرجة الحرارة المنخفضة الفعالة أفضل للحياة بالمصادفة فقط، سيكون وجود المراقبين ممكناً[٩].

التناظرات المجردة ضرورية في الفيزياء

من السهل فهم تجربة الرجل القزم في المغناطيس لأن التناظر في ذلك المثال – تناظر دوراني – شائع في الحياة اليومية. لكن التناظر الذي قد يؤدي إلى بنية حقل كونية شيء مختلف. إنه في الحقيقة تناظر «مجرد» وليس تناظراً هندسياً. ودعني أشرح هذا الأمر بإعطاء مثال من الاقتصاد. إنه يتعلق بالتضخم ولكنه تضخم مالي كمقابل للتضخم الكوني. يخفّض التضخم بشكل سيء القوة الشرائية للنقود بينما لا تتأثر القيمة الحقيقية للسلع والخدمات بذلك. وفي أيام معدلات التبادل الثابتة أعادت الحكومات في بعض الأحيان تقييم عملتها بالنسبة للعملات الأخرى. ولم يؤثّر هذا على قيمة النقود ضمن بلد معين ولذا فإن هناك تناظراً هنا: إن قيمة السلع والخدمات المصنعة ضمن بلد ما ثابتة ضمن إعادة تقييم سعر تبادل العملات. وفي عام ١٩٦٧ خفض رئيس الوزراء البريطاني هارولد ويلسون قيمة الجنيه الاسترليني مقابل الدولار

الأمريكي وقد سخر من تصريحه بأن هذا التعديل لن يؤثر على«الجنيه في جيبك». ولكنه كان محقّاً تماماً بمعنى أن القيمة النسبية للسلع والخدمات والنقود ضمن بريطانيا لم تتأثر بالإجراء. أتت المشكلة بالطبع من ارتفاع قيمة السلع المستوردة وبالتالي كان الناس في وضع أسوأ عموماً. ويحدث نوع مختلف من إعادة التعيير عندما يفلت التضخم ويجب التعبير عن الأسعار بأرقام كبيرة جداً. وتقوم الحكومات أحياناً بإعادة تعيير اقتصادها بكامله كما حدث عندما أدخل الفرنسيون الفرنك الجديد عام ١٩٦٠. كان الفرنك الجديد يساوي ١٠٠ فرنك قديم ولكن القيمة الحقيقية للسلع والخدمات بقيت ثابتة.

وفي الفيزياء هناك عدد من التناظرات المجردة. وتقدم الكهرباء الموجبة والسالبة مثالاً بسيطاً على ذلك. إنها تقف في العلاقة نفسها كما في تناظر يسار – يمين: وإذا تبادلت كل الشحنات الموجبة والسالبة في الكون بطريقة سحرية فستغفل قوانين الكهرطيسية عن هذا التبادل. ولأعطي مثالاً آخر، فبحسب ميكانيك نيوتن تعتمد الطاقة اللازمة لرفع وزن ما من أسفل بناء إلى أعلاه على ارتفاع البناء وليس على خيارنا في قياس الارتفاع من مستوى سطح البحر أو من مستوى الأرض (تعتمد الطاقة على فارق الارتفاع فقط وليس على الارتفاع المطلق). وأيضاً لن تتأثر الطاقة لو قررنا أن نحوّل وحدات قياسنا من السنتيمتر إلى المتر تماماً كما كان الحال بالنسبة للفرنك الجديد. (وفي الحقيقة فإن التناظر أكبر مما أشرت إليه لأن الطاقة المصروفة في رفع وزن لا تعتمد أيضاً على الطريق الفعلي الذي تسلكه ويمكن للطريق أن يكون مستقيما نحو الأعلى أو متعرجاً – فلن يكون لهذا أي تأثير على الجواب). إن النوع الأخير من التناظر حيث تبقى كمية بدون تغيير بينما يعاد تعيير نظام القياس شائع كثيراً في الفيزياء ويدعى تقنياً تناظراً عيارياً. وتمتلك الحقول الكهربائية ***تناظراً عيارياً*** مماثلاً: يمكن إعادة تعيير الجهد بإضافة رقم ثابت من الجهد أو طرحه في أي مكان دون التأثير على تغير الطاقة الداخل في نقل الشحنة الكهربائية من مكان لآخر. وأيضاً لا يعتمد تغير الطاقة على الطريق الذي يسلكه. ولذا فإن قوانين نيوتن وقوانين الكهرباء لا

تتغير يمثل هذه التحولات المعيارية: إن هذه خاصة أساسية لهذه القوانين. لقد وجد الفيزيائيون أن تعميمات مثل هذه التناظرات المعيارية تمضي بعيداً في التقاط الخصائص الأساسية للقوى الأربعة للطبيعة. وبالفعل تصنف القوى بشكل أفضل دقة بتحديد تناظراتها باستخدام فرع في الرياضيات يدعى نظرية المجموعات.

تقدم القوة الكهروضعيفة تطبيقاً كلاسيكياً للفكرة السابقة. شرحت في الفصل الخامس كيف توحّد نظرية غلاشو- سلام - واينبرغ -Glashow Salam- Weinberg (GSW) بنجاح القوة الكهرطيسية والقوة الضعيفة وأنهما تندمجان عند طاقة عالية. إن التناظرات المجردة المعيارية محبوكة في هاتين القوتين ويؤدي التحطيم التلقائي لأحد هذه التناظرات إلى التفريق بين هاتين القوتين عند طاقة منخفضة. وفي سياق الانفجار الكبير فإن ما يحدث هو أن التناظر المؤسس الموحد ظهر عند درجة حرارة أعلى من $١٠^{١٥}$(ألف تريليون)°م. وللطاقة الضعيفة مجال طويل مثل القوة الكهرطيسية. ولذا مع انخفاض درجة الحرارة كانت هناك مرحلة انتقالية انكسر عندها التناظر المعياري للقوة الضعيفة تلقائياً وأصبحت القوة الضعيفة نتيجة لذلك فجأة ذات مجال قصير وأضعف بكثير من القوة الكهرطيسية. وهذا ما نجده في عالم الطاقة المنخفضة نسبياً للفيزياء اليومية. ولعدد من السنين افترض الفيزيائيون أنهم يتعاملون مع قوتين منفصلتين لأن التناظر الذي يربطهما كسر. وفي الحقيقة طوّر الفيزيائي انريكو فيرمي Enrico Fermi نظرية للقوة الضعيفة مؤسسة على سوء الفهم هذا. وهي تتضمن قانوناً مختلفاً جداً عن الذي يظهر في نظريةGSW. ولكننا نعلم الآن أن مرحلة انكسار- التناظر للقوة الضعيفة لا يعكس قانوناً أساسياً حقاً من قوانين الفيزياء على الإطلاق ولكن حادثة متجمدة وأن نظرية فيرمي هي مجرد نظرية فعّالة تصح عند طاقة منخفضة فقط.

آلية هيغز Higgs

قد تتساءل كيف يكسر التناظر القوة الكهروضعيفة. رأينا في الفصل الرابع أن من الممكن تفسيرالمجال القصير جداً للقوة الضعيفة بالكتلة الضخمة جداً لجسيم W وجسيم Z اللذين يتم تبادلهما لنقل هذه القوة وسابقاً في هذا الفصل كيف اعتقد بأن الجسيمات تحت الذرية حصلت على كتلها بالتفاعل مع حقل ينتشر في كل مكان – دعي بحقل هيغز. حسناً إن حقل هيغز هذا مسؤول عن كسر التناظر المعياري للقوة الضعيفة. وسأبيّن هنا كيف يحدث. عند درجات حرارة أعلى من تحول الطور الكهروضعيف كما حدث في الكون الأولي الحار قبل حوالي واحد على تريليون من الثانية يصبح متوسط حقل هيغز صفراً مثل مغنطة القضيب الحديدي فوق درجة حرارة كوري. وفي حقل هيغز بمتوسط صفر تكون كتل الجسيمات كلها صفراً. إن الجسيم W والجسيم Z بدون كتلة تماماً مثل الفوتون مما يوحي بأن القوة الضعيفة والقوة الكهرطيسية كلاهما له مجال طويل. وعندما تنخفض درجة الحرارة يواجه حقل هيغز اللغز نفسه الذي يواجهه قلم الرصاص الذي يقف على رأسه (انظر الشكل ٢٤): وهو المقايضة بين التناظر والاستقرار. ويتم هذا لأن حقل هيغز بتفاعل مع نفسه وتشبه الطاقة الناجمة عن هذا التزاوج قوة الثقالة لقلم رصاص واقف. إن حقل هيغز بقيمة صفر متناظر ولكنه غير مستقر وحقل هيغزالذي لا يساوي الصفر مستقر ولكنه يكسر التناظر. ما الذي يفعله حقل هيغز؟ إنه مثل قلم الرصاص الساقط يكسر التناظر تلقائياً وتقفز شدته نتيجة لذلك من قيمة متوسطة تساوي الصفر إلى قيمة عالية جداً لا تساوي الصفر. ونتيجة لذلك تعتاد بعض (طاقة الإسقاط) المتحررة أن تدفع للكتل التي يمنحها حقل هيغز للجسيمات المشاركة كلها. ومع ذلك تبين أنه في النسخة التقليدية لنظرية هيغز «مهما كانت الطريقة التي يسقط فيها قلم الرصاص» فإن الجسيمات تمتلك الكتلة نفسها. ولذا على الرغم من أن مرحلة الانتقال للقوة الكهروضعيفة في الكون الأولي ربما أنتجت بنية حقلية من نوع ما إلا أنه من غير المحتمل أن تكون بنية حقلية تختلف فيها كتل الجسيمات

من منطقة لأخرى. وللحصول على ذلك النوع من التأثير من الضروري اعتبار طاقات أعلى من السابقة.

شرحت في الفصل الخامس محاولات توحيد القوة الكهروضعيفة بالقوة النووية القوية ضمن نوع من النظرية الموحدة الكبرى (GUT. وتشتمل تلك النظريات أيضاً على آليات لكسر التناظر، وحقول هيغز وتناظرات مجردة ولكنها أكثر تعقيداً وتفصيلاً. وبالرغم من أننا الآن في حقل أشد تخميناً إلا أن المبادئ العامة التي لخصتها مسبقاً قد تبقى صالحة للتطبيق. يمكننا أن نتوقع أنه في أوقات أبكر من واحد على تريليون ثانية وعند درجات حرارة موافقة أعلى سيكون هناك تناظر أكثر وبنية وتعقيد أقل. ويجب الذكر هنا بأن درجة حرارة ال GUT (التي سيستعاد عندها أية تناظرات مكسورة) هي حوالي تريليون تريليون درجة تقريباً وتعود إلى حقبة كونية قبل حوالي ١٠$^{-٣٦}$ ثانية (واحد على تريليون تريليون تريليون من الثانية) [١٠]. ومع تبرد الكون من هذه الظروف الهائلة تكسر تناظرات مختلفة في سلسلة من التحولات الطورية مشكلة ربما حقولاً كونية ضخمة. لقد كسر أحد هذه التحولات التناظر بين المادة ومضاد المادة. وربما كسر تحول آخر التناظر الفائق. ومهما كانت التفاصيل المثيرة فإن الفكرة الرئيسة هي: مع برودة الكون أصبح كل من الحالات الفيزيائية (أي طبيعة المادة وشكلها) والقوانين الفعالة للطاقة المنخفضة، تدريجياً أكثر تعقيداً وتنوعاً. ومن وجهة نظر معامل غولديلوك Goldilock فقد كان هذا التعقيد نعمة لأنه أمكن أن يكون لبنية الحقل الغنية المتنبأ بها من قبل تحطيم التناظر في GUT تأثير كبير على قابلية الكون للحياة. وعلى سبيل المثال يمكن أن تمتلك الحقول كتلاً جسمية وشدات قوى مختلفة ودرجات متغيرة «للخلط» بين القوى المختلفة.... وهكذا. ولكن هناك احتمال أكثر إثارة يبدأ الآن بالظهور....

قد تكون قوانين الفيزياء على شكل شبه - قوانين محلية

قد لا تكون الطريقة التي تتحطم فيها تناظرات GUT الأكثر شمولاً فريدة. فقد تكون هناك طرق أخرى لكسر التناظر مؤدية ليس لشدات نسبية مختلفة للقوى ولكن إلى قوى مختلفة كلية – قوى بخصائص مختلفة تماماً عن تلك التي نعرفها. وعلى سبيل المثال كان من الممكن وجود قوة نووية قوية بإثني عشر غلوان gluon بدلاً من ثمانية وكان من الممكن وجود نكهتين للشحنة الكهربائية ونوعين متمايزين من الفوتونات أو كان من الممكن وجود قوى إضافية أخرى فوق القوى الأربع وفيما هو أبعد منها. ولذا ينشأ الاحتمال لبنية حقلية بحيث تكون فيزياء الطاقة المنخفضة في كل حقل مختلفة جداً ليس ب «ثوابت» مثل الكتل وشدات القوى فقط ولكن في الشكل الرياضي نفسه للقوانين بحد ذاتها. وسيشبه الكون على المقياس الضخم ولايات متحدة أمريكية كونية ب «ولايات» مختلفة في الشكل ومفصولة بحدود واضحة. وستكون القوانين العامة في الفيزياء كقوانين الكهرطيسية مثلاً التي اعتبرناها حتى الآن أقرب لشبه – قوانين محلية أو لقوانين ولاية بدلاً من القوانين الوطنية أو الاتحادية. وفي هذا المزيج من المناطق الكونية سيكون القليل جداً منها صالحاً للحياة فعلاً.

وعلى الرغم من أن ال GUT تقدّم متسعاً معيناً لكون خليط بقوانين مختلفة جداً في حقول مختلفة إلا أن الاحتمالات تتضاءل إلى حد الإهمال عندما تقارن بغنى نظرية الأوتار للكون المتعدد. وليس هناك الآن نقص في حقول الطاقة المنخفضة المحتملة: فهي تظهر بأعداد تبلغ الزيليونات zillions. وفي الحقيقة تفتح نظرية الأوتار صندوق باندورا الحقيقي من الاحتمالات. وتعود الخصوبة المذهلة لهذه النظرية إلى العدد الهائل من الطرق التي يمكن بها ضغط الأبعاد الإضافية أو«لفّها» بالشكل الذي وصفته في الفصل الخامس. إن الإنضغاط هو نسخة نظرية الأوتار عن كسر التناظر. وعلى سبيل المثال فإن شكلاً متناظراً بسيطاً مثل كرة كبيرة

بستة أبعاد يمكن أن تتقلص تلقائياً إلى متاهة معقدة متعددة الأبعاد من جسور ملتوية وأنفاق متشعبة. ويوضح الشكل (٢٥) أحد هذه الأشكال وهو مسقط على سطح ثنائي البعد لسهولة التصور. وهناك عدد لا يحصى من التشكيلات المختلفة كهذه. إن النقطة الرئيسة هنا هي أن قوانين الفيزياء التي تطبق في الكون المتبقي (غير المنضغط) تعتمد على شكل الأبعاد المضغوطة. ودعني أصرح بهذا لأهميته الفائقة:

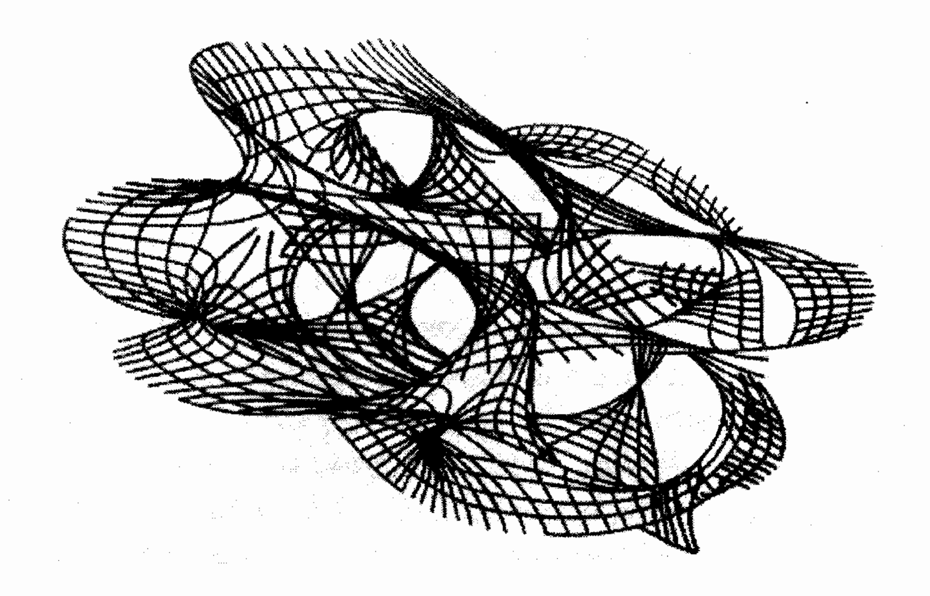
في نظرية الأوتار/M، فإن فيزياء الطاقة المنخفضة للعالم ثلاثي الأبعاد الذي نلاحظه يحدد بالشكل المحدد للأبعاد الإضافية المضغوطة.

في أي نوع من الكون نلاحظ أن – أشياء مثل طبيعة القوى (على سبيل المثال أية تناظرات تمتلكها) شدات القوى ودرجة خلطها وعدد الجسيمات الأساسية وأنواعها (فيرميونز fermions أو بوزونز bosons) وخصائصها (الكتل والشحن الكهربائية واللف.....الخ). وطاقة الفراغ (أي الطاقة المعتمة) – تعتمد كلها على الطريقة التي تلتفّ بها الأبعاد الإضافية. فإذا تقلصت بهذه الطريقة ستحصل على كون بخمسة فوتونات وقوتين قويتين وإذا التفت بتلك الطريقة فهناك ثمانية إلكترونات وأربعة غلوانات وهكذا....[١١] وفي الحقيقة فحتى عدد الأبعاد المنضغطة ليس ثابتاً. ويمكن أن تكون هناك عوالم منخفضة الطاقة حيث تخضع خمسة أبعاد فقط للانضغاط تاركة فراغاً بأربعة أبعاد كبيرة (مرئية). أو ربما تنضغط سبعة أبعاد تاركة بعدين ضخمين فقط.

المشهد الوتري

إن أحد التحديات التي تواجه منظري نظرية الأوتار هو تحديد عدد الأشكال التي يمكن لعملية الانضغاط أن تخلقها: كم عدد العوالم منخفضة الطاقة الممكنة التي يمكن التنبؤ بها بواسطة النظرية. الجواب هو – كثيراً (ويمكن حتى أن يكون عدداً لا متناهياً). وفي الحقيقة فحتى الحصول على

تقدير لهذا العدد عملية صعبة لأن رياضيات الانضغاط لا تزال غير مفهومة جيداً. وإضافة إلى هذا يجب على المرء أن يأخذ بعين الاعتبار أنواع العوامل المختلفة كلها مثل، كيف تتداخل حلقات الأوتار في الطبوغرافيا topology، والتناظرات الوترية المجردة المتنوعة، وتطويرات أخرى. وعلى أية حال تقدّر بعض التقديرات [١٢] العدد الكلي بأكثر من $١٠^{٥٠٠}$. وهذا الرقم هو واحد متبوع بخمسمائة صفر. وبالمقارنة فإن عدد الذرات في الكون الملاحظ ليس أكثر من $١٠^{٦٠}$. ولذا فهناك عدد من الأكوان الممكنة منخفضة الطاقة تأتي من نظرية الأوتار أكثر بما لايقارن بعدد الذرات الموجودة في كوننا.



الشكل ٢٨ شكل أبعاد غير مرئية

يوضح هذا السطح المعقد ثنائي البعد واحداً من عدد من ال «انضغاطات» للأبعاد الستة غير المرئية للمكان المفترضة في نظرية الأوتار. وبحسب هذه النظرية يحدد الشكل المعين شكل القوانين الفيزيائية في الأبعاد الثلاث (الكبيرة) المتبقية.

إن الطريقة الجيدة لتخيل هذه الوفرة الكونية المذهلة للعقل هي اعتبار منظر مكون من أكوان منخفضة الطاقة. وهي فكرة مفيدة اقترحها ليونارد ساسكيند Leonard Susskind. (ليس هذا منظراً مادياً حقيقياً ولكنه «منظر من الاحتمالات» مجرد متعدد الأبعاد). تخيل أرضاً واسعة ومتعرّجة من التلال والوديان. تمثل كل نقطة في هذا المنظر كوناً ممكناً يتميز بقوانين فيزيائية معينة. وتتعلق الوديان في هذا المشهد بأكوان ***مستقرة*** وكوننا واحد منها. وتشير الوديان الأخرى إلى أكوان أخرى مختلفة بقوانين مختلفة. وقد يكون بعضها غير مختلف كثيراً عن كوننا بينما تختلف الأكوان الأخرى بدرجة كبيرة. وتعطي نظرية الأوتار أنواعاً كثيرة مختلفة من الأكوان بحيث تكون الاختلافات في قوانينها الفيزيائية دقيقة جداً بالفعل – في الحقيقة مستمرة تقريباً. وستكون هناك أكوان مطابقة لأكواننا ماعدا الرقم الخامس بعد الفاصلة لكتلة الإلكترون أو الرقم العاشر بعد الفاصلة بالنسبة لشدة القوة الكهرطيسية. وستملك الأكوان الأخرى اختلافات أكبر قليلاً في مثل هذه الكميات بينما تبقى أكوان أخرى مغايرة تماماً لكوكبنا بأنواع جديدة من الجسيمات وبقوى غير معروفة جداً من قبلنا. وليس من شطحات الخيال القول أنه يمكنك تخيل كون واختيار نوع الفيزياء منخفضة الطاقة التي تريد (بدون سبب) وسيكون هناك كون في مكان ما يطابق ذلك الوصف من بين عدد لا يمكن تخيله من الاحتمالات[١٣].

وبأخذه لوحده يمثل منظر ساسكيند خياراً واسعاً من الأكوان المحتملة ولكنه لا يتنبأ بأنها موجودة فعلاً. ومع ذلك فهناك آلية طبيعية ل «ملء» المنظر بأكوان ***موجودة فعلاً***. هذه الآلية هي **التضخم الأبدي** الموصوف في الفصل الثالث. في هذه النظرية هناك قالب شامل من كون متضخم لا بداية ولانهاية له توجد ضمنه «فقاعات» توقفت عن التضخم وشكلت أكواناً جيبية. وأحد هذه الأكوان هو كوننا. وتتشكل الأكوان الجيبية طيلة الوقت «بالتبلور» من الفضاء المتضخم الأبدي كما تتشكل فقاعات من الرطوبة حول جسيمات الغبار في هواء مشبع بالماء. ويمثل كل حادث تشكل نوى عملية خلق كون

جيبي مستقل. وستكون هناك ضمن كون جيبي معين قصة كونية فريدة: انفجار كبير حار وكسر للتناظر وتحولات طورية وظهور عالم منخفض الطاقة من القوانين الفيزيائية.

وبدمج التضخم الأبدي مع نظرية الأوتار/ M يمكننا توجيه السؤال التالي: إذا ظهرت الأكوان الجيبية من القالب المتضخم أين ستتشكل النوى من الفقاعات في حقل الاحتمالات؟ هل ستظهر دوماً في المكان نفسه مما يؤدي إلى فيزياء الطاقة المنخفضة نفسها أم هل ستكون مختلفة في كل مرة؟ تقترح النظرية الاحتمال الثاني. ولأن حوادث تشكل النوى هي بطبيعتها كمومية فستكون هناك اختلافات داخلية لا يمكن تجنبها. وأكثر من ذلك حتى ضمن فقاعة معينة من الممكن (على الرغم من أنه عادة نادر جداً) لتذبذبات كمومية أن تشكّل نواة فقاعة أخرى عند طاقة أخفض وأخرى ضمنها... وهكذا – فقاعات ضمن فقاعات حيث تتمدد الفقاعات الخارجية بسرعة أكبر من الداخلية لتعطي كل شيء الكثير من المكان المرفق. ولأن التضخم أبدي في هذه النظرية فهناك زمن لا متناه للميكانيك الكمومي ل «يستكشف» كامل المنظر بهذه الطريقة[١٤].

إذا كانت هذه الأفكار صحيحة فإن الكون المتعدد مأهول بأكوان جيبية لا حصر لها حيث تمثل كل العوالم منخفضة الطاقة – كل ال $١٠^{٥٠٠}$ منها – في مكان ما. وبهذا يتحول علم الكون إلى علم بيئة حيث يعتمد الجزء الأساسي من التفسير لما نلاحظه في الكون على خصائص البيئة الكونية المحلية. وبالمصطلحات العقارية الحقيقية فإن كل هذا يعود إلى الموقع ثم الموقع ثم الموقع[١٥].

عدد من العلماء يكره فكرة الكون المتعدد

بالرغم من جاذبيتها الواسعة ومن حلها الأنيق ظاهرياً لمعامل غولديلوك Goldilock فإن لنظرية الكون المتعدد بعض النقاد المميزين من داخل المجتمع العلمي وخارجه. وهناك فلاسفة يعتقدون أن أنصار الكون المتعدد خضعوا لتفكير مضلل في استخدامهم لنظرية الاحتمالات[١٦]. وهناك

العديد من العلماء الذين يرفضون فكرة الكون المتعدد على أنها تخمين مبالغ فيه. لكن أكثر النقاد صخباً يأتون من صفوف منظري نظرية الأوتار حيث ينكر عدد منهم صحة منظر من العوالم المتعددة. وهم يتوقعون بأن التطورات المستقبلية ستعرض هذا التنوع المذهل للعقل على أنه مجرد سراب خادع وأنه عندما تصبح النظرية مفهومة بالكامل فإنها ستعطي وصفاً وحيداً – عالماً وحيداً هو ***عالمنا***. ومع ذلك فهناك إلى الآن القليل من البراهين – أو لا يوجد برهان – يؤيد تلك النظرة وبالتالي تبقى على أنها شيء إيماني. ومع ذلك كان الهجوم على فكرة الكون المتعدد عنيفاً. واستخدم العلماء المتميزون والمعلقون كلمات مثل خيال وجرثوم ومفلس عقلياً أثناء شجبهم لها. ويجد بول شتاينهارت Paul Steinhart استاذ كرسي البرت آينشتاين في جامعة برنستون الفكرة كريهة بكاملها بحيث أنه ببساطة أغلق عقله عنها. وقد صرح عن ذلك بقوله «إن هذه الفكرة خطيرة بحيث أنني ببساطة لا أرغب حتى في مجرد التفكير فيها»[١٧].

ماذا يقع وراء مثل هذه التصريحات العاطفية؟ بالنسبة لأولئك الفيزيائيين النظريين الذين يحاولون بجد أن يصوغوا نظرية موحدة نهائية فإن الكون المتعدد يأتي كأسلوب رخيص للخروج من هذه المعضلة. ويبدو تحويل علم الكون إلى علم بيئة مشوش كهبوط رث مقارنة بالعظمة الملهمة لنظرية موحدة نهائية تشرح كل شيء. ويحلم التقليديون بإيجاد أسباب عميقة مدعومة برياضيات أنيقة لكون العالم – بكل تفاصيله الجمة على ما هوعليه. وبالمقابل تعلن نظرية الكون المتعدد أن السبب الوحيد لنلاحظ ما نراه هو `أنه قابل للملاحظة. وتصدم العشوائية واختيار المراقب العديد من الفيزيائيين على أنهما تفسير قبيح وفقير بالمقارنة مع نظرية رياضية شاملة تحدد خصائص العالم بدقة كمية تحيكها في وحدة متجانسة. وهم يعتبرون تفسيرات الكون المتعدد و/المبدأ الإنساني على أنها تخدم الجهود لنسف برنامج التوحيد (نظرية الأوتار على سبيل المثال) وتهدد الأساس المزود لها. ويذهب بعض النقاد إلى حد اقتراح أنها تؤثر على تعليم الباحثين الشباب.

إن بطل الحزب المضاد لنظرية الكون المتعدد هو ديفيد غروس David Gross من جامعة سانتا باربارا – كاليفورنيا الفائز بجائزة نوبل للفيزياء والذي ساعد في تطوير الكروموديناميك الكمومي. وغروس متفائل لا يمكن إيقافه يعتقد أننا سنتمكن يوماً ما من وضع نظرية نهائية لكل شيء يمكنها شرح متحولات الفيزياء كلها وعلم الكون بحسب قوانين رياضية مفهومة. لقد شرحت الطريق إلى نظرية لكل شيء على أنه توحيد متطور للفيزياء، وهي عملية تجد أن القوانين المختلفة والمستقلة ظاهرياً مرتبطة على مستويات أعمق مبدئياً. ومع سقوط فيزياء أكثر ضمن نطاق التوحيد فهناك متحولات حرة أقل لتثبيتها وهناك اعتباطية أقل في شكل القوانين. وليس من الصعب تخيل الحد الأقصى المنطقي لهذه العملية: دمج الفيزياء كلها في مجموعة انسيابية من العلاقات. وربما لو كان لدينا مثل هذه النظرية لوجدنا أنه لا توجد متحولات حرة متبقية على الإطلاق: وسأدعو هذا بنظرية «عدم وجود متحولات حرة». وإذا كانت تلك هي الحالة فليس من المعقول اعتبار عالم كانت فيه القوة القوية مثلاً أقوى، والإلكترون أخف، لأن قيم تلك الكميات لا تعدل بشكل مستقل – فهي ستثبت بالنظرية. وهناك بالتأكيد بعض منظري نظرية الأوتار/ M المتحمسين الذين يتنبؤون بتطور مستقبلي للموضوع يظهر فيه الرقم ١٨٣٦ وهو نسبة كتلة البروتون إلى الإلكترون والرقم ١٠^٤٠ وهو نسبة القوة الكهرطيسية إلى قوة الثقالة، من مزيج رياضي أخاذ. ولكن يبقى هذا في الوقت الحالي مجرد انتصار موعود. فمنظرو نظرية الأوتار لا زالوا بعيدين جداً عن تفسير ولو واحد فقط من هذه الأرقام. وبالرغم من هذا الافتقار إلى التقدم لا زال العديد منهم متفائلاً. وبمواجهة غروس في مؤتمر عالمي بالتحدي بأن نظرية نهائية مرضية تبدو بعيدة المنال أجاب ببرود مستعيراً جملته من ونستون تشرشل «لن نستسلم أبداً ابداً أبداً».

ومع ذلك فلا يعني مثل هذا النقاش العنيد أن نظرية الكون المتعدد حولّت صحة منظر نظرية الأوتار. وبالتأكيد فإن منظر نظرية الأوتار يقدم النسخة الأغنى والأكثر طبيعية. ولكن نوعاً من الكون المتعدد هو خاصة

أصيلة لبداية الكون بالانفجار الكبير مع كسر للتناظر. إن كوناً يبرد من حالة بدائية فائقة الحرارة سيشكّل حتماً بنية حقلية تمتلك فيها حقول مختلفة خصائص مختلفة بما في ذلك قوانين وقيم طاقة منخفضة فعالة لثوابت الطبيعة. وعلى الرغم من أن مصطلح ***كون متعدد*** صيغ منذ فترة قصيرة نسبياً، فإن التخمينات حول تعددية الحقول الكونية مؤسسة على ال GUT ونظريات بأبعاد أعلى ومحاولات أخرى للتوحيد كانت موجودة لثلاثة عقود. وبغياب نظرية نهائية وحيدة مقنعة يبقى الافتراض المتبقي وهو أن الكون الذي نلاحظه مجرد جزء واحد من مزيج عشوائي من الأكوان.

ولكن هل هي علم؟

هل من الممكن اختبار نظرية الكون المتعدد؟

يتمثل الانتقاد الآخر الموجه لنظرية الكون المتعدد بأنها ليست علماً لأنه لا يمكن اختبارها بالتجربة أو بالملاحظة. ولهذا الاعتراض بعض القوة. إن الادعاء بأن كوننا ترافق مع عدد لا يحصى من الأكوان الأخرى يبدو من المستحيل اختباره. شرحت مسبقاً أننا لا نستطيع في نظرية التضخم المؤبد ملاحظة الأكوان الجيبية الأخرى مباشرة لسببين: لأنها بعيدة بشكل لا يصدق، ولأنها تبتعد عنا بسرعة أكبر من سرعة الضوء. ويمكن الاعتراض بصحة أن نظرية تعتمد على أشياء لا يمكن ملاحظتها من حيث المبدأ لا يمكن أن توصف بأنها علم.

لكن من الممكن العثور على إثبات ***غير مباشر*** لدعم النظرية. وفي العلم يمكن للمرء أحياناً أن يثق في تنبؤ مقدم من نظرية حتى لو كان التنبؤ المحدد غير قابل للاختبار، إذا كانت النظرية ككل تتمتع بتأييد تجريبي جيد. وعلى سبيل المثال يمكن تطبيق نظرية النسبية العامة على داخل الثقوب السوداء وهي مناطق من الفضاء لا يمكن رؤيتها من الخارج ولو من حيث المبدأ فقط، لأنها محاطة بأفق حادث. لقد اختبرت نظرية النسبية العامة جيداً في سياقات أخرى بحيث تأكد الفيزيائيون من قدرتهم على استخدامها لوصف

ما يحدث داخل الثقوب السوداء أيضاً. وإذا أمكن اختبار نظرية الأوتار/ M، أو نظرية موحدة أخرى تتنبأ بعدد من العوالم المحتملة تجريبياً، فيمكن للمرء عندها أن يثق بالتنبؤ بكون متعدد. ولسوء الحظ يبدو أن اختباراً تجريبياً لنظرية الأوتار مطمح بعيد، ولكن هذا مجرد قيد على الوضع الحالي للمشروع العلمي. وليس هناك سبب رئيس يمنع اكتشاف نظرية موحدة كاملة في المستقبل البعيد واختبارها تجريبياً. وبهذا المعنى فإن نظرية الكون المتعدد تحوم حول الحدود التي تفصل العلم عن الخيال.

ويمكن أن يأتي الدليل غير المباشر على الكون المتعدد من اختبار تفاصيل التناغم الجيد. تحاول نظرية الكون المتعدد استبدال الصدفة بمظهر التصميم. إن ميزة الصدفة هي أنه يمكن تحديدها رياضياً بشكل جيد. لقد درست قواعد الصدفة وخصائص المتحولات العشوائية بشكل عميق جداً وعرفت بعض الخصائص المميزة لها جيداً. إن جوهر الآلية الإنسانية هو أن كوننا اختير من قبلنا بسبب قابليته للسكن ومن هذه الناحية فهو غير نموذجي بالنسبة للأكوان ككل. ولكن عدد الأكوان سيكون هائلاً (على الأقل في نسخة نظرية الأوتار للكون المتعدد) بحيث سيظل هناك مجال من الاحتمالات بما في ذلك عدد كبير من الأكوان الأخرى الصالحة للحياة ولكنها تختلف قليلاً عن كوننا. إن التناغم الجيد ليس حول كل شيء أو لا شيء: فكل متحول من المتحولات الهامة يتمتع **بمجال** من القيم المتسقة مع الحياة. إن كوناً تكون فيه القوة الكهرطيسية أقوى ب ١% مثلاً من المحتمل أن يبقى صالحاً للسكن ولكنها إذا كانت أقوى ب ٥٠% فإن هذا سيسبب المشاكل. وضمن مجموعة الأكوان الصالحة للسكن فليس هناك سبب للإفتراض أن كوننا هو أي شيء عدا عن كونه نموذجياً. ولذا تتنبأ نظرية الكون المتعدد أنه عندما يتم البحث في موضوع التناغم الجيد بشكل أدق لا بد أن نجد أن القيم المقاسة للمتحولات الضرورية (أي الحساسة لوجود اللحياة) تعرض قيماً ***نموذجية*** ضمن المجالات التي تسمح بالحياة.

كيف لنا أن نعرف فيما إذا كانت هذه القيم نموذجية أم لا؟ إن إحدى الخصائص العامة للعمليات العشوائية هي أن الصدف الكبيرة أكثر ندرة من الصدف الصغيرة. فكّر في رمي قطعة نقود عشرة آلاف مرة. نتوقع أن يكون العدد الكلي للرؤوس والنقوش متساوياً بعد هذا العدد الكبير من المحاولات. ومع ذلك لن يكون مفاجئاً أن يكون لدينا مجموعة من ثلاث رؤوس من وقت لآخر. وسنرفع حواجبنا من الدهشة لو تتابعت أربعة رؤوس. أما الحصول على خمسة فسيبقى للذكرى ولن يكون الحصول على عشرة رؤوس متتالية مستحيلاً ولكن احتماله سيكون مذهلاً. وتدعى مثل هذه المحاولات تذبذبات إحصائية وهي جزء وحزمة من العمليات العشوائية كلها. إن القاعدة هي أنه كلما كبر التذبذب (في هذه الحالة تتابع الرؤوس) كلما قل احتمال حدوثها. وبتطبيق هذه القاعدة على الكون المتعدد نجد أنه من المحتمل أن تكون هناك أكوان (أو حقول كونية) تلبي **بالكاد** الظروف الملائمة للحياة أكثر من تلك التي تلبي الظروف الضرورية **بمجال كبير**. وبعبارت أخرى يجب أن تكون هناك أكوان أكثر تكون فيها الحياة قريبة الحدوث من تلك التي تكون فيها درجة الصداقة للحياة دقيقة إلى حد غير ضروري. ولذا إذا كنا نحن البشر مجرد مراقبين طارئين وعشوائيين بين كل المراقبين الممكنين فمن المحتمل أكثر أن نجد أنفسنا نعيش في كون صديق للحياة بشكل هامشي من وجودنا في كون صديق للحياة بشكل أعظمي وذلك ببساطة لأن هناك أكوناً من النوع الأول أكثر من الأكوان من النوع الثاني.

ولأخذ مثال ملموس اعتبر الطاقة المعتمة التي تفوق طاقتها «الطبيعية» ١٢٠ أس عشرة من القيمة الملاحظة. وكما ذكرت فقد اقترح ستيفان واينبرغ بأن هذا ناتج عن تأثير الخيار الإنساني: فالكون الذي نعيش فيه صدفة بحسب الطاقة المعتمة اختير من قبلنا بسبب قابليته للسكنى (لم تكن المجرات لتتشكل لو كانت الطاقة المعتمة أكبر بكثير). إن الأكوان بمثل هذا الضغط الكبير للطاقة المعتمة في هذه النظرية نادرة جداً وبتطبيق القاعدة بأن الصدف الصغيرة أكثر احتمالاً للحدوث من الصدف الكبيرة، فيجب أن تكون هناك

أكوان كثيرة بقيم طاقة معتمة قريبة من القيمة الطبيعية الهائلة لها، وأكوان أقل قليلاً بقيم أقل بقليل من القيمة الطبيعية، وأكوان أقل كثيراً بطاقة معتمة أقل بكثير من القيمة الطبيعية. ولذا يمكننا أن نتوقع أن يكون كوننا قريباً جداً من الحد الذي يسمح بالحياة على أساس أن هناك أكواناً اكثر بكثير من هذاالنوع من أكوان بقيم أقل من الطاقة المعتمة. وفي الحقيقة فهذا ليس بعيداً عن الملاحظ. فمن المحتمل أن القيمة المقاسة للطاقة المعتمة ليست أقل من واحد إلى عشرة من القيمة «المميتة» – القيمة التي لن تتشكل المجرات إذا كانت أكبر من ذلك. إذا كانت الطاقة المعتمة الملاحظة أصغر بمليون مرة من القيمة العظمى التي تسمح بالحياة فسيستبعد تفسير الكون المتعدد بالتأكيد على أساس أن الكون سيكون عند ذاك أكثر صداقة للحياة مما يحتاج لتفسيروجود كوننا ذي الطاقة المعتمة المنخفضة كصدفة إحصائية مختارة إنسانياً[١٨].

وقد يسهل فهم هذا المنطق بإعطاء مثال. تصور سحباً لليانصيب تعطى فيه جائزة كبيرة لأي شخص يحزر بشكل صحيح أربعة أرقام من خمسة بين واحد وعشرة مختارة عشوائياً. لقد أوصت الجهة المنظمة للعملية بتوخي الحذر لأنهم سمعوا إشاعات عن مؤامرة للغش. فحصت النتائج ووجد أن شخصاً واحداً قد حزر الأرقام الخمسة كلها بشكل صحيح. ولم يحقق أحد آخر المتطلب الأدنى للجائزة. هنا يصبح المنظمون فجأة متشككين من النتيجة لأن المطلوب من الرجل أن يحزر أربعة فقط من الأرقام الخمسة. ولذا فقد كان حزره أفضل بكثير مما يلزم لنيل الجائزة، لأن حزر الأرقام الخمسة كلها أصعب بعشر مرات من حزر أربعة أرقام فقط. ولو كانت النتائج بحيث يحزر ثمانية أشخاص أربعة أرقام ويحزر شخص واحد الأرقام الخمسة كلها لاعتبر المنظمون ذلك وفق توقعات المصادفة العشوائية. ولكن «إصابة قاتلة» وحيدة تثير الشكوك بأن شيئاً غريباً يجري خلف الستارة.

وبالطريقة نفسها، لو كان العامل الفيزيائي الضروري للحياة صديقاً للحياة بعشر أمثال ما يلزم لوجودنا لأثار هذا الشكوك أيضاً بأن الصدفة

العشوائية ليست التفسير الوحيد وأن «شيئاً غريباً يجري» خلف الأستار الكونية. إن هامشاً من عشرة – التقدير الحالي لحالة الطاقة المعتمة – كبيرجداً ليكون مريحاً (هذا يعني أن القول بأن القيمة المقاسة للطاقة المعتمة «قريبة» من الحد الذي يسمح بالحياة عندما تكون أصغر بعشرة أمثال هو نوع من المبالغة). ومع ذلك فإن نظرية تشكيل المجرة معقدة ولا تزال غير مفهومة جيداً وربما بمزيد من البحث العلمي فإن قيمة للطاقة المعتمة أكبر بمثلين أو ثلاثة أمثال من القيمة الملاحظة ستكون كافية لوجود الحياة. وعلى أية حال، تتنبأ نظرية الكون المتعدد بأن تشكل المجرات (أو أية عملية أخرى تؤثر على الحياة) لا بد أن يعاق بقيمة للطاقة المعتمة أكبر بقليل فقط من الطاقة المقاسة. وإذا ظهر أن هذا تنبؤ غير صحيح فإن هذا سيخطّئ نظرية الكون المتعدد ويشير بدلاً من ذلك إلى «شيء غريب». ويحكم على نظرية قابلة للخطأ من قبل معظم العلماء على أنها مؤهلة لوصفها بال «علمية».

هل عثر على «ثوابت» متغيرة مسبقاً؟

هناك طريقة ثالثة يمكن بواسطتها اختبار نظرية الكون المتعدد. وعلى الرغم من أننا قد لا نكون قادرين على ملاحظة أكوان أخرى بقوانين أخرى أو بقيم مختلفة للثوابت الفيزيائية فقد نستطيع أن نلاحظ الاختلافات الضئيلة في القوانين **ضمن كوننا**. وإذا وجدت مثل تلك الاختلافات فإنها ستخطّىء الإدعاء بأن القوانين مثبتة بشكل فريد من قبل نظرية نهائية. ومن الواضح أنه إذا أمكن تغيير القوانين قليلاً ضمن الكون الملاحظ فمن الممكن أن تتغير كثيراً في المناطق التي تقع أبعد من ذلك. أجرى الفلكيون والفيزيائيون اختبارات دقيقة جداً للبحث عن أية إشارة على تغير القوانين عبر الزمان أو المكان. واستطاعوا أن يضعوا قيوداً صارمة على أية تغيرات من هذا النوع. وعلى سبيل المثال لو تغير ثابت نيوتن للثقالة الذي يحدد شدة قوة الثقالة G مع تقدم الكون في العمر فسيظهر تأثير ذلك في كيفية دوران الكواكب حول الشمس. لم تلاحظ مثل تلك التغيرات حتى الآن. ووضعت أيضاً قيود على

التغيرات الممكنة على شدة القوة الضعيفة، وعلى نسبة كتلة البروتون إلى الإلكترون بدراسة تشكيل جيولوجي غريب في أفريقيا الغربية. هناك توضع غني جداً لخام اليورانيوم في الغابون بحيث أنه أصبح «حرجاً» منذ بليوني عام مشكلاً مفاعلاً نووياً طبيعياً. وبفحص نواتج الانشطار تمكّن الفيزيائيون من تأكيد «ثبات الثوابت» الداخلة في التفاعلات إلى دقة عالية جداً.

كان هناك مؤخراً ادعاء ولو أنه قابل للجدل بأن شدة القوة الكهرطيسية تغيرت قليلاً بأجزاء قليلة من المليون منذ حوالي ٦ بلايين عام. ويأتي الدليل من دراسة البنية الدقيقة لخطوط الطيف من أشباه النجوم البعيدة جداً. لو تغيرت القوة التي تربط الإلكترونات بالنوى فإنها ستؤثر على تفاصيل «الشفرة الرقمية» التي تميز الذرات عن بعضها بعضاً بشكل فريد ويعتقد بعض الفلكيين أنهم اكتشفوا ذلك. وإذا ما ثبتت هذه الملاحظات فإنها ستدعم فكرة أن واحداً على الأقل من «الثوابت» الأساسية للطبيعة ليس محدداً بشكل مطلق لكنه يمتلك طبيعة متحول بيئي[١٩].

ولذا فنظرية الكون المتعدد على الجبهة العلمية ليست تخميناً بالكامل. إنها متجذّرة في علم محترم وتمتلك إمكانية اختبارها بشكل غير مباشر. ويبدو أن الفكرة العامة لكون متعدد خاصة لا بد منها لعلم كون الانفجار الكبير مع فيزياء الجسيمات. ولكن إلى أي مدى يتعين على المرء أن يهبط على هذا المنزلق؟ ما إن نسلّم بأكوان أخرى كاملة بناء على برهان واه فأين سنتوقف؟ وما الذي يفعله هذا لإدراكنا للحقيقة؟

وفرة الأكوان: مشكلة الكائنات المنسوخة

يقول مثل معروف جداً أنه في كون لا متناه فكل شيء يمكن أن يحدث لا بد أن يحدث. وبحسب بعض الرياضيات الحرفية فإن هذا القول صحيح. ويقدم رمي قطعة النقود مثالاً بسيطاً على ذلك. إن الاحتمالات ضد رمي قطعة نقود والحصول على رأس ألف مرة متتالية ضئيلة بشكل لا نهائي (حوالي فرصة واحدة من $١٠^{٣٠١}$). ولكن إذا رميت قطع نقود كثيراً بما يكفي

فإن هذا سيحدث في مكان ما. ولإعطاء شعور بالأرقام المتعلقة بذلك فكّر أن كل ذرة في الكون الملاحظ هي قطعة نقود ترمى مرة كل ثانية. إن الاحتمالات ضد ظهور ١٠٠٠ رأس بشكل متتال من بين $١٠^{٨٠}$ ذرة خلال عمر الكون لا تزال أقل من واحد على $١٠^{٢٠٠}$. إن أطول سلسلة من الرؤوس التي يمكنك توقعها حتى لو رميت تريليون مرة كل ثانية هي حوالي ٣٦٠. ومع ذلك إذا رمي عدد لا متناه من النقود فمن المؤكد تماماً الحصول على ١٠٠٠ رأس بشكل متتال: فاللانهاية تقهر أية احتمالات مهما كانت معادية لها. وفي الحقيقة سيتوالى ١٠٠٠ رأس ليس لمرة واحدة فقط وإنما لعدد لا متناه من المرات.

ويطبق الإحصاء نفسه على أي نظام تلعب فيه الصدفة دوراً ما مثل بنية الكون. تخيل أن المكان لا متناه وأن الجزء الملاحظ من الكون نموذج عن الكل (على نقيض نظرية الكون المتعدد). إذا سافرت في أي اتجاه معين إلى مسافة بعيدة كافية فإنك ستجد في النهاية كوكباً شبيهاً جداً بالأرض، لأن عمليات من النوع نفسه ستحدث بالطريقة نفسها. تابع السفر وستلتقي أخيراً بعد عدد ضخم جداً من الكواكب الشبيهة بالأرض، بكوكب مطابق تقريباً للأرض بالقارات وسلاسل الجبال والمحيطات نفسها. ومن السهل حساب الاحتمالات لتشكل أرض أخرى بالصدفة، وبالتالي المساقة المتوقعة التي ستحتاجها للسفر لتجد مثل ذلك الكوكب الذي هو نسخة مطابقة للأرض. وكلما كانت تلك الأرض قريبة الشبه بأرضنا، كلما كانت الاحتمالات أقل، وكلما كانت المسافة الفاصلة بينهما أبعد. وقد يبدو من الغريب تخيل كوكب آخر مثل كوكبنا تماماً، ولكن في كون لا متناه حقاً ستكون هناك أراض أخرى بالتأكيد ولو على مسافة بعيدة جداً. وبالاستمداد على هذا القياس، ستكون هناك أراض بكائنات شبيهة بالبشر. وبتطويل الاحتمالات أكثر من ذلك يمكننا الاستنتاج أنه ستكون هناك أراض أخرى ليس فقط بكائنات بشرية أخرى، ولكن بنسخ عنك أنت مطابقة من كل النواحي بما في ذلك خبراتك الحياتية. ولكن بحسب المنطق الإحصائي الصارم، فلكل أرض تحتوي على نسخة

مطابقة لك، سيكون هناك عدد لا يحصى من الكواكب الأرضية الأخرى بكائن يختلف عنك ببعض النواحي البسيطة فقط مثل لون الشعر أو الطول أو هدية عيد الميلاد في العام الماضي.

حسب عالم الكون ماكس تيغمارك Max Tegmark من معهد ماستيتيوسيت للتقانة أن متوسط المسافة إلى أقرب كوكب يحتوي على نظيرك يجب أن يكون $١٠^{٢٩}$ متراً بناء على افتراضات (مثل تجانس قوانين الفيزياء وتوزع المجرات). قارن هذا بقطر الكون الملاحظ والذي يبلغ المقدار التافه ١٠^{26} متر فقط. من الواضح أن المخاطرة في التقائك بواحد من ذواتك المعدلة مهملة. وفي الحقيقة، في كون انفجار كبير نموذجي فإن المسافة الفاصلة بين كائنات متطابقة تماماً أكبر بكثير من حجم الأفق مما يعني أن الاتصال أو مجرد تبادل الرسائل بينها غير ممكن خلال حياتها. ولكن حتى لو لم تكن بحاجة للخوف من اللقاء بنسخة منك فإن مجرد فكرة وجود ليس واحداً فقط بل عدداً **لا نهائياً** من النسخ المطابقة عنك يعيشون حياة مطابقة لحياتك (وعدداً لانهائياً آخر يعيشون حياة مشابهة ولكنها ليست مطابقة لحياتك) أمر مقلق جداً. وحتى تيغمارك يعترف بأنه يجد الفكرة «غريبة وغير مقبولة»[٢٠]. فالمسألة تتعلق بالهوية الشخصية. فنحن نشعر أننا متفرّدون. إذا كانت هناك نسخة أخرى مني ناهيك عن وجود عدد لا يحصى من النسخ، فهل سيكونون أنا أم شخصاً آخر؟ مثل هذه الأسئلة تصيب الرأس بالدوار.

إنه مجرد استمداد بسيط لهذه الأفكار لتستنتج كم بعيداً عليك أن تمضي قبل أن تصادف كوناً ملاحظاً مطابقاً لكونك تماماً. الجواب هو حوالي $١٠^{١٢٠}$ متر. ولكن بالمنطق نفسه فيجب أن تكون هذه النسخ الكربونية الكونية هناك في مكان ما إذا كان الكون لا نهائياً حقاً. وسيكون هناك عدد لانهائي منها: عدد لانهائي منها مطابق من كل النواحي للكون الملاحظ. ورغم غرابة هذه الاستنتاجات فإنها تنجم بشكل غير قابل للتحويل من منطق الإحصاء البسيط ونظرية الاحتمالات[٢١].

إن المحور المركزي في هذا التحليل هو افتراض كون لا نهائي لا يختلف بشكل منتظم من منطقة لأخرى. ما معقولية هذا الافتراض؟ تقترح النظرية الشائعة عن التضخم الأبدي شيئاً مختلفاً تماماً فكوننا ليس لا نهائياً بل هو بالأحرى موضوع ضمن منطقة ضخمة، لكنها مع ذلك متناهية مشابهة لمنطقتنا. وعلى الرغم من اتساع منطقة التضخم (أو الكون الجيبي) فمن المحتمل جداً أنها ليست واسعة بما يكفي لاحتواء أكثر من نسخة واحدة فقط عنك. ولكن هذا الاستنتاج نصر باهظ الثمن لأن محدودية منطقة التضخم التابعة لنا اشتريت بثمن، وهذا الثمن هو وجود عدد لا نهائي من المناطق الكونية الأخرى أو من الأكوان الجيبية. لذا فإن كل مانفعله هو مبادلة لا نهاية واحدة بلا نهاية أخرى. ويتنبأ التضخم الأبدي بأنه سيكون هناك عدد لانهائي من الأكوان تنتج بآلية تكوين الأكوان. وسيكون هناك أكوان كبيرة وأخرى صغيرة وإذا كانت أفكار منظر الأوتار صحيحة فستكون أكواناً بقوانين وشروط ابتدائية بكل الاختلافات الممكنة. وسيكون هناك أيضاً عدد لا متناه من الأكوان التي تشبه كوننا، وسيكون مدفوناً تحت هذه اللانهاية عدد لامتناه من الأكوان ***مطابقة من جميع النواحي لكوننا***.

هل الكون مختلق؟

كما لو أن مشروع عدد لانهائي من الأكوان المتماثلة لم يخرّب مسبقاً فكرتنا عن الحقيقة ولكن لا زال هناك ما هو أسوأ. لقد حققت سلسلة أفلام «المحيط» أكبر إقبال على دخول السينما في السنوات القليلة السابقة وبما أن معظم التصوير جرى في مدينة سيدني التي عشت فيها فإنني أشعر بارتباط خاص بها. إن محور قصص الخيال العلمي هذه هو (بشكل تقريبي) أن البشر قد لايكونون بشراً حقيقيين ولكنهم نتاج نمذجة حاسوبية. إن ما تعتبره الشخصيات في الفيلم العالم الواقعي هو في الحقيقة مشهد لحقيقة افتراضية صنعت من قبل حضارة متقدمة ذات إمكانات حاسوبية هائلة.

إن لفكرة أن العالم حولنا هو نوع من المصادفة أو من التمثيل الذي صمّم لخداعنا تاريخ طويل في الفلسفة والخيال العلمي حيث استخدمت كتجربة فكرية للتعليم أو للتسلية أو ربما للمزاح. إن الجديد في الموضوع هو أن بعض العلماء والفلاسفة البارزين يطلبون منا اليوم أن نأخذ فكرة التمثيل هذه على محمل الجد. وبصراحة فهم يقولون أن الكون والملاحظين الذين يحتويهم – وهذا يشملك أنت – قد يكونون ناتج تمثيل حاسوبي ضخم يدار من قبل كائن أو كائنات لا نعرفها. ويصرّح نيك بوستروم Nick Bostrom وهو فيلسوف من جامعة أكسفورد وأخصائي ما يدعى بفكرة التمثيل هناك احتمال كبير أنك تعيش ضمن تمثيل حاسوبي. وأنا أعني هذا حرفياً: إذا كانت فرضية التمثيل صحيحة فأنت موجود ضمن حقيقة افتراضية مثّلت بواسطة حاسوب، بني من قبل حضارة متقدمة. وعقلك أيضاً هو جزء من هذا التمثيل[٢٢].

يا للعجب! إن ما يقوله بوستروم هو أن الأشياء في الغرفة حولك والكرسي الذي تجلس عليه، وهذا الكتاب الذي تقرأه الآن والناس الذين تعرفهم وتحبهم والمادة الصلبة التي تكوّن جسمك – عدا عن الشمس والنجوم وباقي الكون – هي كلها وهم من خيالك. والأسوأ من ذلك: فأنت نفسك مجرد كائن من نسج خيالك. إن هذه الخبرة العقلية – هذا «التخيل» – موجود ضمن حاسوب ضخم موجود ليس في هذا الكون (الذي لا يوجد «حقيقة» إذ أنه حقيقة افتراضية) ولكن في كون «نظري» آخر[٢٣]. حسناً عندما نكون مستعدين لقبول احتمال وجود كون متعدد يبدو أنه لا يوجد سبب وجيه لاستبعاد وجود أكوان تحتوي على تمثيلات حاسوبية لأكوان أخرى. وفي تلك الحالة فإن الكون المتعدد مسكون بأكوان حقيقية وأخرى تمثيلية. ولا يمكن لأي تحليل جاد لمناصري نظرية الكون المتعدد ومطارضيها التملص من العواقب الغريبة الناجمة عن وجود أكوان ملفقة.

إن أقرب ما وصل إليه أي منا إلى تجربة فيلم (المحيط) The Matrix هو **الحلم**. بعض الأحلام حية جداً بحيث أنها بدت في حينها حقيقية. وحتى أنني حلمت بأحلام ضمن أحلام حيث كنت متأكداً أنني استيقظت من كابوس لأكتشف بعد ذلك أنني ما زلت نائماً. ويحلم بعض الناس (بخبرات فوق العادة مثل اختطافات أجنبية) بأحلام مقنعة جداً بحيث أنهم يتذكرونها بعد ذلك على أنها تجارب حقيقية ويتحدثون عنها على أنها كذلك حتى تحت تأثير تنويم مغانطيسي أو أثناء استجواب. ومع ذلك نستطيع في معظم الحالات تمييز عالم الأحلام عن العالم الحقيقي، ونحن متأكدون أيهما كذلك: عالم الأحلام ليس حقيقياً – إنه تمثيل (عادة سيء) أو وهم خلق في عقولنا غير المستقرة بعملية لا تزال غير مفهومة جيداً حتى الآن. ولكن ليس من الصعب تصور عالم خيالي متناسق وواضح جداً بحيث أنه يقترب من «الشيء الحقيقي» مما يتركنا مترددين في القول فيما إذا كنا نحلم أم لا. لقد كان غوتفريد ليبنز Gottfried leibniz سابقاً لعصره في تقديم مثل هذا التنبؤ: «على الرغم من أنه قيل بأن الحياة كلها ليست سوى حلم وأن العالم المادي ليس سوى خيال إلا أنني يجب أن أدعو هذا الحلم أو الخيال حقيقة لو أننا باستخدام المنطق جيداً لم نكن خدعنا بها»[٢٤].

إن هدف صناعة الحقيقة الافتراضية هو خلق أوهام حسّية بشكل حقيقي، بحيث يشعر متلقو العالم الافتراضي أنه حقيقي. ويتم تحقيق هذا باستخدام أجهزة مثل شاشات بصرية ثلاثية الأبعاد وصوت عميق و أثواب تقدم إحساساً ملموساً وقفازات تحرك الصور من خلال تأشير إلكتروني كما لو أن لابسها يلمس شيئاً حقيقياً. إن الحقيقة الافتراضية المصنوعة بهذه الطريقة ليست كرؤية الأحلام المحصورة داخل رؤوسنا فقط. ولكن قد يكون باستطاعة تقنية مستقبلية تقديم إشارات إلكترونية مباشرة إلى عقل الشخص خالقة الانطباعات الحسية بعالم خارجي ملفق دون الاضطرار إلى تحريض العيون والآذان والحواس الأخرى. ويدور موضوع مفضل من مواضيع الخيال العلمي حول عقل محرر من الجسد محصور ضمن وعاء مربوط

سلكياً بنظام حاسوبي متطور يخلق الإنطباع بعالم حقيقي بحيث أن الشخص صاحب العقل قد لا يشعر نهائياً أنه لم يعد لديه جسد وأن العالم الذي يدركه ملفق. وبالتأكيد فهذه الفكرة معروفة جداً من قبل الفلاسفة الذين يحبون استخدامها لمناقشة طبيعة الملاحظة والحقيقة بحيث دخل المصطلح «الاحتواء» قاموسهم[٢٥].

إن التمثيل الأعلى لا يستخدم العقول الموجودة على الإطلاق (على نقيض الأحلام والاحتواء) ولكنه يحاكي وعي سكان العوالم الافتراضية مباشرة. ولقبول هذه الفكرة على المرء أن يقبل أن الوعي ليس نوعاً من أنواع المادة ولكنه نتاج عمليات فيزيائية. وهذا هو بالتأكيد الرأي التقليدي السائد بين العلماء. ولزمن طويل بقي الأعضاء الأكثر جرأة مما يدعى بمجتمع الذكاء الصنعي يخبروننا أن الحاسبات ستكون يوماً ما قوية بما يكفي ليس لحساب الرواتب ولعب الشطرنج فقط، وإنما لتفكّر وتعي بيئتها ووجودها. وباختصار لتحصل على الوعي. ويعود هذا المنحى من التفكير إلى ألان تورنغ Alan Turing الرياضي الإنكليزي العبقري والمشارك في اختراع الحاسوب الإلكتروني الذي كتب عام ١٩٥٢ ورقة شهيرة يعالج فيها مسألة «هل تستطيع الآلات التفكير؟». وضع تورنغ المعيار الذي يمكن للمرء بواسطته أن يجيب على السؤال بنعم[٢٦]. ومرة أخرى كان الخيال العلمي سريعاً في وصف إنساليات واعية وإنساليات أخرى «بحياة داخلية» تشبه حياة البشر[٢٧].

حاجج بعض العلماء ومن أشهرهم عالم الرياضيات في أكسفورد روجر بنروز Roger Penrose أن الآلات التي ندعوها الآن حاسبات لا يمكنها – حتى من حيث المبدأ – محاكاة الوعي[٢٨]. ولن أخوض في تفاصيل هذا النقاش وفي المحاولات المتعددة لدحضها. المهم هو أن بنروز نفسه لا ينكر إمكانية تمثيل الوعي بنظام فيزيائي مختلق غير أن السبب بحسب رأيه هو أن هذا النظام لن يعمل كحاسوب رقمي تقليدي. ومن الواضح مبدئياً أن بإمكان المرء أن يبني عقلاً اصطناعياً عن طريق محاكاة عقل طبيعي بالتفصيل وتركيبه جزيئاً فجزيئاً. وإذا فعل المرء ذلك وأدخله ضمن جسم ما فمن الصعب تصور أية حجة تقنعنا بعدم دعم هذا العقل الاصطناعي لوعي حقيقي.

هل كنت ستعلم لو كنت تعيش في عالم ممثل؟

إذا قبلنا أنه يمكن تمثيل الوعي من حيث المبدأ على الأقل فستبقى أمامنا خطوة صغيرة فقط، لنتصور أن شيئاً يشبه الإنسان العاقل يمكن تمثيله وبالفعل مجتمعاً كاملاً من مثل هذه المخلوقات العاقلة تعيش كلها كما يقال في السيليكون أوعلى الأقل في آلة أو نظام معقد مصطنع. وهذا هو بالتأكيد ما يعتقد كثير من العلماء والمهندسين أن البشرية قد تحققه بنفسها خلال عقود أو على الأبعد قرون (إذا سمح قانون مورMoor بذلك !)[٢٩]. وعندها يبرز السؤال الواضح وهو كيف لنا أن نكون متأكدين من أننا نحن أنفسنا لسنا نتاج مثل هذه العملية التمثيلية. كيف لنا أن نعرف فيما إذا كنا حقيقيين أم مجرد ١ و ٠ داخل حاسوب فائق لحضارة فائقة؟

إن الجواب القصير هو أنه لا يمكننا ذلك – على الأقل ليس بتفحص عرضي. فعالم الحاسوب **يسمو** على العالم الافتراضي الذي يقوم بتمثيله. ولو كنا والعالم الذي ندركه من صنع آلة معقدة تعالج كميات ضخمة من المعلومات فلن نكون أقدر على فهم هذا النظام التمثيلي السامي من قدرة برنامج حاسوبي على معرفة الحاسوب الذي يعمل عليه. فالبرمجيات والآليات تنتمي إلى عالمين مختلفين أو على الأقل إلى مستويين مختلفين فكرياً. وهذا هو سبب عدم إحساسنا بعقولنا – لسنا مدركين لها – على الرغم من أننا نعيش ضمنها. وبالقياس ذاته فقد يعيش وعينا داخل عقل مماثل تماماً يعيش ضمن حاسوب فائق.

وحتى لو كنا لا نستطيع التأكد فيما إذا كان العالم حولنا حقيقياً أو ملفقاً نستطيع على الأقل تصور الاحتمالات النسبية لذلك. ما احتمال أن يكون الكون ملفقاً؟ إن النقطة المهمة هنا هي أن الأكوان الملفقة **أرخص** بما لا يقارن من الأكوان الحقيقية. ولصنع كون ملفق عليك فقط أن تعالج أحرفاً من المعلومات وعلى الرغم من أن هذا يحتاج إلى بعض الطاقة (الحاسبات تسخن!) إلا أنها أقل بكثير من الطاقة اللازمة لصنع ١٠^٥٠ طن من المادة.

وأكثر من ذلك فمن غير الضروري صنع كون بكامله لتقتنع أنت وأنا بأن العالم حولنا حقيقي. فمعظم الكون يمر دون أن نراه في حياتنا اليومية ولذا يمكن التخلص منه: فالأرض ومحيطها المجاور يكفيان. وليس من الضروري أيضاً أن يكون عمر الكون المخلق بلايين السنين: فالتمثيل يمكن أن يبدأ في أي وقت بسجلات وذاكرات صحيحة. وليس من الضروري أن يكون التمثيل دقيقاً بالتفاصيل كلها. ما دمنا لم نلحظ اهتزاز المناظر فسنبقى جاهلين أننا كنا نعيش في شيء يشبه «المحيط». وبمعرفة هذه الحقائق من الواضح أن حضارة فائقة تسكن عالماً حقيقياً يمكنها بكلفة قليلة نسبياً أن تمثّل عدداً لا نهائياً تقريباً من الأكوان الملفقة. وبعبارات أخرى فمن المحتمل أن تكون نسبة الأكوان الملفقة إلى الأكوان الحقيقية هائلة [٣٠]. إذا لم يستطع بعد ذلك مخلوق عاقل أن يميز بين التمثيل والحقيقة فمن المحتمل أن الغالبية العظمى من أمثال هذا المخلوق تعيش في عالم ممثل. ويتبع هذا أنك وأنا بالتأكيد مخلوقات ممثلة تقريباً تعيش في «المحيط». وهذا هو بشكل عريض استنتاج بوستروم [٣١].

لا بد أن يحتوي الكون المتعدد أكواناً ملفقة

إضافة إلى الأكوان الحقيقية

ربما بقيت هذه الأفكار المجنونة محصورة ضمن نطاق الدروس الفلسفية الغامضة لو لم تبرز نظرية الكون المتعدد إلى الشهرة. وبطبيعتها الذاتية تتحدى نظرية الكون المتعدد فهمنا لما هو حقيقي وما هو متخيل. وإذا كنا مستعدين لتقبل فكرة وجود عدد لا يحصى من الأكوان التي لا ترى من هذا الكون، فلماذا نرفض وجود عدد لا يحصى من الأكوان الممثلة أو الملفقة أيضاً؟ ليس هناك سبب على الإطلاق. وفي الحقيقة لا يكفي أن لا يكون هناك سبب لرفضها ولكن لدينا كل سبب لقبولها. وطالما بقيت فكرة التمثيل محصورة بكون وحيد فمن الممكن دوماً التملص من الاستنتاج غير المريح بأن هذا تمثيل بالقول بأنه لا توجد حضارات يمكنها أن تصل إلى تحقيق مثل

هذه الطاقة الحاسوبية الهائلة. وعلى سبيل المثال هناك أسباب عديدة لعدم بقاء البشرية لأكثر من قرون قليلة في المستقبل وقد لا يكفي هذا لتطوير حاسبات واعية [٣٢]. ولو أصاب قدر مماثل أي كائنات ذكية أخرى قد تكون موجودة في مكان آخر من الكون فإن التمثيل الذي لا زال ممكناً من حيث المبدأ قد لا يمكن تحقيقه عملياً.

ولكن إذا كان كوننا جزءاً من كون متعدد فسيميل توازن الاحتمالات بشكل كبير لصالح التمثيل. إنها قضية إحصائية أساسية. وقد يكون صحيحاً أن البشرية لن تبقى أبداً إلى اللحظة التي تبنى فيها حضارة متفوقة بطاقة حاسوبية هائلة وربما من المحتمل أيضاً أن لا يحقق أي كوكب آخر في كوننا الملاحظ هذا المستوى من التطور. لكن الكون المتعدد يسمح بالاختلافات الممكنة كلها لموضوع ما بما في ذلك أكوان مشابهة ولكن مختلفة قليلاً حيث تبقى البشرية إلى المرحلة التي تكون فيها قادرة على تمثيل حقائق ملفقة. وما لم يكن هناك قانون يحظّر ظهور مثل هذه الحضارات ليس في هذا الكون فقط ولكن في الأكوان الأخرى كلها (ومن الصعب التفكير أي نوع من القانون يمكن أن يكون) فمن المحتم أن بعض الأكوان مثل كوننا ستشكل حضارات متفوقة تخلق أكواناً ممثلة. وستخلّف هذه الأكوان أعداداً كبيرة من الأكوان الملفقة بحيث تهيمن هذه الأكوان في المزيج الكلي من الأكوان الحقيقية والملفقة بشكل كبير. ولذا من المحتمل جداً أن يكون كوننا ملفقاً. وبالتأكيد فإن خلق أكوان ملفقة قد يعتبر مضيعة للوقت والموارد من قبل عدة حضارات ولكن الأمر يحتاج إلى بعض الحضارات فقط – لأسباب تتعلق بالبحث العلمي والتسلية أو الغيرية – لكي تفعلها وستنتشر العوالم الملفقة بعد ذلك.

وعلى الرغم من أنه قد لا يكون بمقدورنا أن نميز من المظاهر السطحية فيما إذا كان الكون الملاحظ حقيقياً أم ملفقاً إلا أنه يمكن للتفحص الأكثر دقة أن يظهر طبيعته الملفقة. لقد خمّن عالم الكون جون بارو John Barrow في هذه الموضوع «حتى لو كان القائمون بالتمثيل دقيقين حول تمثيل

قوانين الطبيعة فسوف يكون هناك حدود على ما يستطيعون القيام به». لقد كتب يقول:

بافتراض أن القائمين بالتمثيل أو على الأقل الأجيال الأولى منهم لديهم معرفة متقدمة جداً بقوانين الطبيعة، فمن المحتمل أن لاتزال لديهم معرفة غير كاملة بها... إن هذه الثغرة لن تمنع خلق التمثيلات وعملها لفترة طويلة من الزمن. ولكن الأخطاء الصغيرة ستبدأ بالتراكم تدريجياً. وفي النهاية ستتعاظم تأثيراتها ككرة الثلج و ستتوقف هذه الحقائق الممثلة عن الحساب.إن الحل الوحيد هو أن يتدخل صانعوها لحل المشاكل حين ظهورها مشكلة فمشكلة [٣٣].

ما الذي عندئذ يمكن أن يفصح عن أسرار اللعبة إذا حاول صانعو التمثيل أن يصلحوا كونهم المعطل؟ يشير بارو إلى احتمال حدوث خلل في قوانين الفيزياء:

في مثل هذه الحالة ستنشأ حتماً تناقضات منطقية وستتعطل القوانين في التمثيل من حين لآخر. وسيكون قاطنو الكون الممثل – وعلى الأخص العلماء فيه – محتارين أحياناً بالنتائج التي حصلوا عليها من التجربة. وقد يجري الفلكيون الممثلون – على سبيل المثال – ملاحظات تظهر أن ما يدعى بثوابت الطبيعة لديهم تتغير ببطء شديد [٣٤].

ذكرت في القسم السابق كيف أنه قد يكون هناك بالفعل بعض الدلائل الملاحظة على وجود اضطراب طفيف في شدة القوة الكهرطيسية منذ حوالي ٦ بليون عام. هل كان هذا من صنع المتحكم بجودة نظام التمثيل الكوني وهو يقوم حرفياً بعملية التنغيم الجيد لكوننا وإعادة المؤشر إل الوضع الأولي على آلة المصمم؟ يستنتج بارو«أننا لو عشنا في حقيقة ممثلة فيجب أن نتوقع مشاكل مفاجئة أحياناً وانحرافاً صغيراً في ثوابت الطبيعة وقوانينها المفترضة مع الزمن، وأن ندرك أن نواقص الطبيعة هي بمثل أهمية قوانين الطبيعة لفهمنا الحقيقة الحقة». إن المضمون بالطبع هو أن الدليل الفلكي من خطوط الطيف لأشباه النجوم ربما فرط مسبقاً حبات الفاصولياء.

إن الاستنتاج – إذا كان من الممكن أخذه جدياً – بأننا قد نعيش في تمثيل حاسوبي له بعض العواقب المحيرة إن لم تكن المقلقة. إذا خلقنا تحت إشراف نظام معالجة معلومات غير معروف ولا يمكن معرفته ما الضمان أن يستمر القائمون بالتمثيل بتشغيل عملية التمثيل؟ ربما سيملّون منها وسيوقفون العملية. أو ربما سينفد تمويل «تجربتهم»؟ وبما أن طبيعة العالم الممثل الذي نختبره تابع لهم فما الذي يوقفهم عن تغيير البرمجيات وتحويل كوننا الرائع إلى كون جهنمي أو قبيح؟

وتصبح الأمور أسوأ. فالتمثيل يقع في قلب نظرية برمجة الحاسوب. إن فكرة حاسوب عام نفسها (يدعى غالباً آلة تورنغ) هي أنه يمكن أن يحاكي أي حاسوب عام آخر: ويعرف هذا بمبدأ **عمومية الحوسبة**. ولجلب الموضوع نحو الأمور العملية العادية يمكن لحاسوب من نوع ال Mac أن يحاكي حاسوباً شخصياً PC والعكس صحيح. ولهذا السبب فإن عالماً ممثلاً غنياً بما يكفي ليحتوي حوسبة عامة (وكبيراً بما يكفي ليقدم الموارد) يمكن له أن يمثل حقيقته الافتراضية نفسها. وسيكون هذا مثل الحلم ضمن الحلم الذي ناقشته مسبقاً – والذي يبرز المشهد المفزع بأننا وعالمنا قد نكون كائنات ممثلة تدار من قبل تمثيل آخر بحيث نكون على بعد خطوتين فقط عن الحقيقة! ومنطقياً ليست هناك نهاية لهذه السلسلة من التمثيل ضمن التمثيل ضمن التمثيل.... ويمكن للكون الحقيقي أن يضيع ضمن سلسلة مرتدة لا متناهية من الأكوان الملفقة المتداخلة. أو ربما أنه غير موجود على الإطلاق. ربما تتألف الحقيقة من سلسلة لا متناهية من التمثيلات.

اللاهوت في عالم ملفق:

يمكن أن يكون هناك آلهة ملفقون أيضاً

هناك نتيجة طبيعية ممتعة لفكرة التمثيل. إن وضع الكائنات الممثلة هو أن وجودها وعالمها يعتمدان كلياً على نظام التمثيل. ولو أوقف الحاسوب الفائق أو وجّه لمشروع آخر (أقل طموحاً) لكان في ذلك نهايتنا جميعاً. ولذا

فنظام التمثيل هو مصممّنا وخالقنا وداعمنا وربما مهلكنا الأسمى. ويستطيع هذا النظام – إذا أريد ذلك – أن يتواصل معنا مباشرة باستخدام علامة بارزة في عالمنا مثل وجود شيء في غير مكانه أو مخالفة القوانين الطبيعية والتي ستبدو لنا على شكل معجزة. وبالمقابل، فبما أن نظام التمثيل يمثّل عقولنا فمن المفترض أن لديه اتصالاً بأفكارنا وبذا نستطيع التواصل معه ومع مشغليه عقلياً – مشغلي التمثيل (الذين يمكن أن يكونوا هم أنفسهم). وبذا تقف الكائنات الممثلة في علاقتها بنظام التمثيل بموقف البشر من الله (أو الآلهة) نفسه في الدين التقليدي. فالله أيضاً مصمم أسمى وخالق وداعم ومهلك وصانع معجزات وعالم بالأفكار ومتقبل للدعاء. وبما أن حجة الكون المتعدد غالباً ما تثار كوسيلة لإزالة الحاجة إلى عناية إلهية **فمن الغريب أنها تقدم أفضل حجة علمية حتى الآن على وجود الله!** من الواضح أنه إذا كان هناك كون متعدد فمن المستحيل تجنب الاستنتاج أن بعض الأكوان على الأقل والتي تحتوي مراقبين هي نتاج إله مصمم خالق. لقد عبر جون بارو عن هذا بيانياً:

يعود الله للظهور بأعداد غير محدودة على صورة صانعي تمثيل لديهم القدرة على إحياء الكائنات الممثلة التي يخلقونها وإبادتها. ويقرر هؤلاء القوانين ويمكنهم تغيير القوانين التي تحكم عوالمهم. ويمكنهم هندسة تناغم إنساني جيد. ويمكنهم سحب التيار الكهربائي عن أية عملية تمثيل في أية لحظة وأن يتدخلوا أو ينسحبوا من تمثيلهم، وأن يراقبوا بينما تتناقش مخلوقاتهم الممثلة فيما إذا كان هناك إله يتحكم ويتدخل ويصنع المعجزات أو يفرض مبادئه الأخلاقية على الحقيقة الممثلة[٣٦].

إن علم اللاهوت لهذا الدين محيّر. فليس لكل الأكوان آلهة. وأحياناً تخلق الآلهة أكواناً غير قابلة للسكن، وأحياناً أخرى تكون الأكوان المسكونة حقيقية وليست ممثلة، ولذا فليس لها آلهة (على الأقل ليس لها آلهة متسامية). ويمكن أن تكون الأكوان نتاج إله واحد أو عدد من الآلهة المتعاونين أو حتى من عدد متنافس منها (كما في الإلحاد

التقليدي). لو كانت حجة التمثيل المتداخل صحيحة لوجد بعض الآلهة فقط لأن آلهة أخرى خلقتهم. ويمكن أن يكون هناك مستويات من الآلهة – بالفعل سلسلة لا تنتهي منهم – بحيث يعتمد كل إله في وجوده على الإله الأعلى منه. وليس من المحتمل أن تقوم الآلهة التي أصفها هنا بدور الإله في الديانات التوحيدية، والذي بحسب اللاهوت المسيحي الكلاسيكي يتعالى على الحقائق الممكنة كلها ويدعمها. وبالطبع فإن وجود الكون المتعدد بمجموعته الوافرة كلها من الأكوان الحقيقية والملفقة لا زال غير مفسر بالآلهة التي سبق أن وصفتها. ولذا فلازال مصدر الحقيقة النهائي يفلت منا.

على الرغم من أن هذه المداولات ممتعة إلا أن هناك مشكلة في اتساق الحجة بكاملها. وكما ألمحت سابقاً، فليس هناك سبب يدفع القائمين بالتمثيل لخلق كون افتراضي يطابق بإخلاص بكل تفاصيله القوانين التي تحكم الكون الحقيقي ذاتها. بل هناك في الحقيقة كل سبب لعدم الاهتمام بهذا الموضوع لأن القليل جداً من الخبرة البشرية يعتمد بصورة مباشرة على أشياء مثل التفاعلات النووية أو الثقوب السوداء على سبيل المثال. وبعد كل هذا فإن أحلامي ستظل نصف – مفهومة بدون أن أجهد عقلي في جعل قوانين الفيزياء صحيحة. ولكن حجة وجود كون متعدد مؤسسة على قوانين فيزيائية **مفهومة** اكتشفناها من خلال البحث العلمي في هذا العالم. لو كان الكون المدرك ملفقاً فستكون قوانينه كذلك ولا مبرر لنا على الإطلاق في مد الفيزياء الملفقة على كامل الحقيقة، وخاصة لا نستطيع افتراض أن يهتم القائمون بالتمثيل بخلق عدد لا يحصى من الأكوان غير المرئية وغير القابلة للرؤية مع هذا الكون فقط لجعل الفيزياء الملفقة في كوننا **متسقة**. وبما أنه لن تكون لدينا فكرة على الإطلاق عما يمكن أن تكون عليه قوانين الفيزياء في الكون الحقيقي – ولا يوجد سبب لنتوقع أنها تشبه قوانيننا – فلن نستطيع الافتراض أن القوانين الحقيقية ستسمح بكون متعدد.

ولهذا فأمامنا ثلاثة احتمالات. الأول أن نسلّم بوجود كون متعدد غني ومعقد بما يكفي ليؤدي إلى ظهور أكوان مثل كوننا تحتوي كائنات عاقلة. وفي هذه الحالة يخلف الكون المتعدد الحقيقي بالتأكيد كوناً متعدداً ملفقاً أكبر بكثير ومن المحتمل جداً أننا نعيش في واحد من هذه الأكوان الملفقة. والخيار الثاني هو أن نسلم بأننا نعيش في كون ممثل وأن نقبل بأن الفيزياء الملفقة التي نكتشفها لا يمكن تطبيقها على مسائل الحقيقة النهائية وبالتأكيد لا يمكن استخدامها للبرهان على وجود كون متعدد سواء كان حقيقياً أم ممثلاً. والاحتمال الثالث هو وجود كون حقيقي واحد أو نوع معين من الكون المتعدد وأن عاملاً غير معروف يمنع تمثيل الوعي.

لذا أي الاحتمالات هو الصحيح؟ لقد انخرطت لأول مرة بموضوع الأكوان الملفقة بطريقة غريبة. فقد دعيت منذ سنوات عدة للاشتراك في مناظرة حول وجود الله مع الكيميائي بيتر أتكنز Peter Atkins من جامعة أكسفورد وهو ملحد قوي. ومثل هذه المناظرات شائع جداً بحيث أنها في كل مرة تغطي بالضرورة المواضيع نفسها. وفي السيارة المتجهة إلى قاعة المحاضرات فكرت بشيء جديد وممتع أقدمه للجمهور. لقد خمّنت أن أتكنز سيقدم حجة الكون المتعدد ليفسر قابلية الكون لوجود الحياة، وأردت أن أجد حجة ضد حجته في الدقائق العشر التي استغرقتها السيارة للوصول إلى القاعة. لقد هبط علي فجأة أن اللجوء بدون تحفظ إلى فكرة كون متعدد يفتح صندوق باندورا Pandora's box بالسماح لأكوان ملفقة أن تطغى على الأكوان الحقيقية. وبما أن الأكوان الملفقة تشتمل على فيزياء ملفقة فإن الحجة الآتية من قوانين الفيزياء إلى كون متعدد إلى اختيار إنساني إلى الاستغناء عن خالق ستحيّد ضمن حلقة مغلقة متناقضة داخلياً. وسيكون المدافعون عن الكون المتعدد معلقين من منجنيقهم! لقد عالج أتكنز هذا التحدي الجديد برباطة جاش ولكنني لم أكن قد انتهيت بعد. لقد كررت الحجة في مقال في صحيفة نيويورك تايمز[٣٧] مشيراً إلى أن تهديد الأكوان الملفقة يختزل نظرية الكون

المتعدد بكاملها إلى حد التفاهة. لقد جاءت ردة فعل مؤيدي الكون المتعدد بمثابة مفاجأة كبيرة. فبدلاً من التراجع عن تهديد الكون الملفق فإنهم احتضنوا هذا الاحتمال بحماس كجزء من مبدأ أوسع لنظرية الكون المتعدد. وقد عبر مارتين ريز Martin Rees عن هذا المزاج الجديد بإيجاز بليغ:

تقود أفكار الكون المتعدد هذه كلها إلى تفاعل ملحوظ بين علم الكون والفيزياء.... ولكنها تقود أيضاً إلى النتيجة غير العادية، وهي أننا ربما لسنا الحقيقة الأعمق، فقد نكون مجرد تمثيل. إن احتمال كوننا مخلوقات كائن فائق، تطمس الحد الفاصل بين الفيزياء و الفلسفة المثالية، وبين الطبيعي وما فوق الطبيعي، وبين علاقة العقل والكون المتعدد والاحتمال أننا ضمن المحيط، بدلاً من الفيزياء نفسها[٣٨].

بقيت حذراً ومتشككاً بالنسبة لأكوان تتعدد بشكل عشوائي. وعندما يقبل احتمال وجود أكوان ملفقة فهناك حجج قوية للاستنتاج بأن كوننا ملفق وذلك ببساطة لاحتمال أن يحتوي الكون المتعدد أكواناً ملفقة أكثر بكثير من الحقيقية. وبينما قد يكون صحيحاً أن كوننا ملفق إلا أن ذلك سيشكل من وجهة نظري نهاية البحث العلمي. ومن هذه الناحية فهذا مماثل للحجة بأن الكون خلق منذ خمس دقائق فقط بكل السجلات والذكريات مطبوعة عليه – أي أن الحاضر حقيقي و لكن الماضي ملفق. إننا لا نستطيع نقض هذا الادعاء، ولكن قبوله لا يقودنا إلى أي مكان. إن الاعتقاد بأن الكون ممثل يشبه نظرية التفرد solipsism **وهي الادعاء بأننا وحدنا موجودون.** ومن المستحيل نقض هذه النظرية أيضاً لأن الحصول على دليل مباشر على وجود عقل آخر، يوجب أن تصبح أنت ذلك العقل – وبعدها سيكون ذلك الشخص هو أنت. ومن الصعب محاججة الملتزمين بهذه النظرية لأنهم ببساطة يفترضون أنك جزء من المؤامرة الكبرى التي تحاكي وجود عقول أخرى، بينما في الحقيقة هناك عقل واحد فقط. وقد يكون المعتنقون لنظرية التفرد مقتنعين باعتقادهم، و لكن

ليس من المعقول لأي منهم أن يحاول إقناع أي شخص آخر. وبالمثل فإن الاعتقاد بأن الكون مؤامرة لفق كي يبدو مثل الحقيقي لا يقودك إلى أي مكان. وليس هناك أي داع لمناقشة مثل هذه الحالة على أسس علمية أو منطقية، لأنه لا يوجد سبب ليتقيد كون ممثل بالمبادئ العلمية أو المنطقية – ليس أكثر من أن تتقيد شخصيات كرتونية بقوانين الفيزياء أو بأحكام المنطق. وفي الحقيقة ما إن تقبل أنك أنت نفسك تمثيل حاسوبي فليس هناك سبب معقول للافتراض أن هذا التمثيل نفسه يخلق عقولاً أخرى، إذ كيف سيختلف عالمك الممثل لو كنت الكائن العاقل الوحيد وكل الكائنات الأخرى في عالمك الملفق مجرد جزء من التمثيل؟ ولذا فإن الاعتقاد بأن الكون ممثل يعادل قليلاً أو كثيراً الاعتقاد بنظرية التفرد.

وإذا رفض المرء الاستنتاج أن الكون ممثل، فهل لا زال **تهديد** الأكوان الملفقة يشكل حجة ضد الكون المتعدد (وهذا كان قصدي الأصلي)؟ وهنا فإنني أقل تأكداً. تبنى حجة التمثيل على افتراض أنه يمكن تمثيل الوعي بنظام معالجة للمعلومات ولكن هذا مسألة إيمان. وليس من المستحيل على الرغم من أنه غير مألوف اقتراح أن الوعي صفة أساسية لا يمكن ببساطة توليده بحاسوب أو ما يشبهه. وحتى لو كان بالإمكان تمثيل الوعي رقمياً فإن تمثيل أكوان تحتوي مراقبين قد يستهلك موارد هائلة مما يفنّد افتراض أن تطغى الأكوان الملفقة بأعداد كبيرة على الحقيقية. ولو شكلت الأكوان الملفقة جزءاً بسيطاً فقط من الأكوان في كون متعدد فإن الحجة بأن هذا الكون قد يكون ملفقاً ستكون أقل إقناعاً. ولذا يبقى السؤال مفتوحاً فيما إذا كانت الأكوان الملفقة ممكنة وإذا كان الأمر كذلك فيما إذا كانت ستسيطر على الكون المتعدد.

ركّزت حتى الآن على تفسيرين محتملين لملاءمة الكون بشكل غير متوقع للحياة. الأول هو أن أي تناغم جيد ظاهر هو ببساطة مصادفة

محظوظة جداً ولا شيء آخر يقال حول هذا الموضوع. والثاني هو أن هناك كوناً متعدداً وأن الطبيعة الملائمة للحياة للكون الذي نلاحظه ناجمة عن تأثير الاختيار. ولكلا التفسيرين نقاط ضعف ونقاط قوة وسأعود إليهما لأعطي تقويماً نهائياً في الفصل العاشر. ولكنني أحتاج أولاً لمعالجة التفسير المحتمل الثالث لملاءمة الكون للحياة، وهو التفسير المفضل لدى كثير من غير العلماء، وهو أن الكون ملائم بشكل مدهش للحياة لأنه صمّم على هذا الشكل من قبل خالق ذكي.

النقاط الرئيسة :

- قد يكون كوننا جزءاً من نظام ضخم (وربما لا متناه) غير متجانس يدعى الكون المتعدد. وقد لا يمكننا ملاحظة الأكوان أو المناطق الكونية الأخرى. ولذا فإننا نستنتج وجودها من النظرية مع بعض الأدلة غير المباشرة.
- يمكن لقوانين الفيزياء والحالة الأولية للكون أن تختلف من كون لآخر. وما سلّمنا به على أنها قوانين مطلقة قد تكون مماثلة لشبه - قوانين محلية، بخصائص رئيسة تتضمن تلك المهمة للحياة والتي «تجمدت» من الانفجار الكبير الحار في جزء الثانية الأولى.
- إن الفيزياء كما نعرفها هي «طاقة منخفضة» بالمقارنة مع حرارة الانفجار الكبير. وكمبدأ عام يؤدي تبريد نظام فيزيائي إلى كسر التناظر وظهور التعقيد.
- بدأ الكون بسيطاً بقوانين مؤسسة أبسط. وربما تم الحصول على كتل الجسيمات الملاحظة على سبيل المثال في المرحلة الأبرد فقط. وقد تكون بعض الخصائص للقوانين الأكثر تعقيداً - خصائص نجمت عن كسر التناظر - عشوائية. ولذا يمكن أن تكون مختلفة في مناطق أخرى.

• ظهرت الحياة والمراقبون فقط في الأماكن التي أنتجت فيها الصدفة العشوائية القوانين والحالة الابتدائية الصحيحة. ويعتقد بعض العلماء أن هذا قد يفسر صداقة الكون العفوية للحياة.

• إن منتقدي الكون المتعدد صريحون ولا عنون جداً. وهم يشملون علماء يطمحون في الوصول إلى «نظرية لكل شيء» نهائية يمكنها أن تفسر الكون تماماً دون إقحام فكرة الكون المتعدد أو تأثيرات اختيار المراقبين. ويأمل هؤلاء بحل وحيد «عالم واحد – هذا العالم» لنظرية موحدة.

• يحاجج بعض الفلاسفة أن الأكوان الممثلة (على سبيل المثال الحقيقة الافتراضية التي تجرى بواسطة حواسب عملاقة) قد تكون ممكنة. وقد تحتوي الأكوان المتعددة عندئذ أكواناً ممثلة إضافة إلى الأكوان الحقيقية. وتشير بعض الحسابات البسيطة إلى أن عدد الأكوان الملفقة قد يفوق كثيراً الحقيقية ولذا من الجائز أننا نعيش في عالم ممثل!



الفصل التاسع

تصميم ذكي

وتصميم غير ذكي جداً

حجة صانع الساعات

يوافق الأشخاص كلهم على أن الكون يبدو وكأنه صمم لكي تكون هناك حياة. حسناً، ربما كان مصمماً لوجود حياة. وربما كان هناك مصمم؟ ليس هذا بالتحليل الجديد – فحجة المصمم لوجود الله تعود إلى الوراء مئات السنين. عبّر أغسطين Augustine عن الفكرة الأساسية بوضوح عندما كتب «يعلن النظام والتموضع والجمال وتغير العالم وحركته والأشياء المرئية كلها بصمت أنها لا بد وأنها صنعت من الله»[١]. وفي القرن الثالث عشر اختار توماس الأكويني Thomas Aquinas دليل وجود تصميم على أنه «طريقه الخامس»[٢]. وأشيع هذا الدليل في القرن الثامن عشر من قبل قس إنكليزي يدعى وليام بالي William Paley الذي اشتهر باستخدامه للمقارنة بين الساعة وعجائب العالم الطبيعي.

دعانا بالي لنتصور أننا صادفنا بمحض الصدفة ساعة تقع على الأرض. وحتى بدون أن نعرف بالضبط ما هي كما اقترح فإننا سنستنتج فوراً أنها آلة مصممة لهدف ما:

عندما نقوم بتفحص الساعة، ندرك أن أجزاءها العديدة موضوعة مع بعضها بعضاً ضمن إطار لهدف ما، فهي مشكّلة ومعدّلة لتنتج على سبيل المثال حركة، وتلك الحركة مضبوطة بحيث تشير إلى الساعة في اليوم، ولو شكلت الأجزاء بشكل مختلف عن الشكل الذي هي عليه، أو أنها وضعت بأية طريقة أخرى أو بأي ترتيب آخر يختلف عن ذلك الذي هي عليه، فإما أن لا تكون هناك حركة فيها من أي نوع، أو لن تكون هناك حركة من النوع الذي يلبّي الاستخدام المستعملة من أجله الآن.... إن الاستنتاج الذي نفكربه حتمي، وهو أنه يجب أن يكون للساعة صانع – لا بد أن يكون هناك في زمان ما، ومكان ما أو آخر، حرفي قام بتشكيلها للهدف الذي تقوم به الآن، وهو الذي فهم طريقة بنائها وصمم استعمالها.

ثم تابع بالي ليناقش «مبتكرات الطبيعة» والتي هي أكثر تعقيداً وأشبه بالتصميم من الساعة بكثير «إن علامات التصميم أقوى بكثير من إهمالها. ويجب أن يكون للتصميم مصمم. ويجب أن يكون هذا المصمم كائناً. هذا الكائن هو الله»[٣]. وبتقديمه دليلاً على وجود إله مصمم، أخذ بالي بعين الاعتبار نوعين من الأنظمة الطبيعية: فلكي وحيوي. ويأتي الفلكي اقرب إلى موضوع هذا الكتاب لكن البيولوجي أكثر شهرة ويلقى بعض الاهتمام حالياً ولذا فسوف أعالجه أولاً.

إن الكائنات الحية معقدة جداً – أكثر تعقيداً مما يمكن لبالي أن يتصوره. وهي بالنسبة لفيزيائي تبدو ليس أقل من معجزة. وتعمل العناصر العديدة والمتنوعة مع بعضها بعضاً بطريقة منسجمة ومتناغمة بشكل مدهش. تحتوي الخلية الحية على مضخات ومحركات وروافع وخلاطات وعنفات ومقصات وآلات أخرى كثيرة ميكروية تشبه الآلات في ورشة للبشر، وكلها أمثلة راقية على التقنية النانونية. ويدير هذا التجمع نفسه بكفاءة عالية ذاتياً أحياناً وأحياناً أخرى بالتعاون مع خلايا أخرى من خلال شبكة متطورة من الاتصالات الخليوية المبنية على إشارات كيميائية. وتكون وظائف الأوامر والتحكم للخلية مشفرة في قاعدة بيانات الدنا DNA الخاصة بها والتي تنفذ

التعليمات من خلال جزيئات وسيطة باستخدام شيفرة رياضية مثلى، تحوّل التعليمات البرمجية إلى نواتج مادية بوظيفة مفصّلة. وهذه مجرد خلية واحدة فقط. ففي عضو أكبر يتجمع عدد كبير من الخلايا وتتعاون هذه لتشكل أعضاء كالعيون والآذان والعقول والأكباد حيث يكون العديد منها معقّداً جداً في البنية والوظيفة. فالعقل البشري لوحده يمتلك عدداً من الخلايا أكبر من عدد النجوم في مجرة درب اللبانة. ولذا فإن هذا كله يؤدي إلى حزمة من المعجزات التي تحيّر العقل.

إن مظهر التصميم هو أحد العلامات المميّزة المحدّدة للحياة. إن السؤال أمامنا هو فيما إذا كانت الكائنات الحية مصممة فعلاً أو فيما إذا كان بإمكان العمليات الطبيعية أن تقلّد تصميماً بشكل جيد بما يكفي لتفسير ما يلاحظه علماء الأحياء. ويرجع نجاح نظرية داروين في التطورالتي نشرت عام ١٨٥٩ بالضبط إلى قدرتها على أخذ التصميم بعين الاعتبار دون اللجوء إلى مصمم. (ما يدعى بحجة صانع الساعات الأعمى والتي شهرت بجلاء من قبل ريتشارد داوكينز Richard Dawkins)[٤]. والنظرية بسيطة وقد نوقشت مفصّلاً في المراجع بحيث أنها تحتاج إلى تلخيص قصير هنا. وهي: تنتج الكائنات العضوية مولودات بتغيرات طفيفة – أطول وأقصر وأغمق وأفتح وأبطأ وأسرع وهكذا... وتكون الظروف أحياناً بحيث أنها **تفضّل واحدة** من هذه الخصائص (على سبيل المثال من الأفضل أن تكون أسرع إذا كان اسم اللعبة النجاة من المفترسين) وستكون للكائنات التي تمتلك تلك الصفة ***فرصة أكبر في البقاء*** وفي ***توريث*** هذه الجينات المفضلة إلى الجيل التالي. وكما عبر داوكينز عن ذلك تشبيهاً بالقول بأن الجينات الجيدة تنتهي داخل الأحفاد بينما تنتهي الجينات السيئة داخل أمعاء المفترسين. ولذا فالطبيعة تعمل **كمنخل** يستبعد الجينات الأقل تلاؤماً، وتكافئ الجينات الجيدة بنسخ نسخ عديدة منها. وبهذه الطريقة تضخّم الصفات الأكثر تفضيلاً بقليل ويقضى على الصفات غير المفضلة نهائياً. ويقود تضخيم الصفات المختلفة في ظروف مختلفة إلى

التنوع. وحينما يتجاوز التنوع بين كائنات مماثلة الحد الذي يمكن أن يحدث بعده التناسل يمكن اعتبار هذه الأصناف عندئذ أصنافاً **مستقلة**.

إن الافتراض الوحيد الذي أجري في تشكيل هذه النظرية هو أنه سيكون هناك تنوع ووراثة واختيار. إن عنصر **الاختيار** في الصراع على البقاء واضح لنا جميعاً لكن العلماء هذه الأيام يفهمون كيف تحدث الوارثة والتغيرات الجينية أيضاً حسب الأساس الجزيئي للحياة. ولاحظ أنه على الرغم من أن التنوع يمكن أن يكون عشوائياً إلا أن الاختيار أبعد ما يكون عن العشوائية، ولذا ليس من الصحيح القول كما يمزح أحياناً بأن الداروينية تعزو التعقيد المنظم للمحيط الحيوي إلى لا شيء أكثر من الصدفة العشوائية. من الواضح أن احتمال أن تنتج الصدفة لوحدها خلية حية ليس أكثر من احتمال أن تنتج زوبعة تنفخ خلال كومة من النفايات طائرة بوينغ ٧٤٧. فالصدفة لم تكن تعمل لوحدها في ترتيب الغلاف الحيوي.

وهناك حقيقة عنصر رابع ضروري في نظرية داروين وهو الزمن. فالاختيار يمكن أن يعمل من جيل لآخر فقط وبالتالي تميل التغيرات لأن تكون بطيئة ولتتراكم على فترات بعيدة. وهناك حاجة لبلايين السنين لتتطور الحياة من حفنة من الميكروبات البسيطة، إلى تنوع الغلاف الحيوي الذي نراه اليوم. ولكن هذا كله جيد: فالأرض عمرها أكثر من ٤,٥ بليون عام. وسجل المستحاثات على الرغم من تقطّعه يقدم دعماً قوياً لحقيقة أن الحياة تطورت بالفعل على مدى ٣,٥ بليون عام من أصولها المتواضعة على هيئة ميكروبات بسيطة.

إله الفجوات يعود مجدداً

بعد بعض المناوشات الأولية بدأ معظم علماء الدين يتقبّلون نظرية داروين في التطور. لقد أقنعوا أنفسهم بالاعتقاد بأن الله يمكن أن يحقق أهدافه بالعمل (ولو ببطء) من خلال آلية التطور نفسها بدلاً من العمل ضدها. لقد أقروا أنه على الرغم من أن حجة بالي كانت صحيحة إلا أن استنتاجه كان

مخططاً: فالله لم يصمم ويخلق الأصناف المختلفة من الكائنات الحية واحداً بعد الآخر من لا شيء. الأحرى أنها تطورت تدريجياً وعلى مراحل نتيجة للتنوع والانتقاء. ومع ذلك فقد أشار بعض ناقدي نظرية داروين إلى أعضاء أو كائنات معينة اعتبروها معقّدة ومنظمة جداً بحيث بدا من غير المعقول أن يعزى وجودها للتنوع والانتقاء فقط.

شكّلت **العين** البشرية وهي عضو وجدها داروين نفسه محيرة مثالاً مفضلاً على ذلك. اعتبرت العين على أنها توضيح **للتعقيد غير الممكن إنقاصه**. والمهم هنا هو أن العين البشرية ليست عضواً معقداً فقط ولكنها تحتوي عدداً من العناصر المتداخلة والمتعاونة على سبيل المثال، عدسة وهي سطح حساس، وبؤبؤ ليتحكم بدخول الضوء. وإذا أزحت واحداً فقط من هذه العناصر فستتأثر العين سلباً بشكل قوي. ويبدو أن الأحجية هي كيف أمكن للأجزاء المتعددة التي لكل منها فائدة محدودة، أن تتركب مع بعضها بعضاً بمثل هذه الطريقة التعاونية الفعّالة. وبما أن جوهر التطور الدارويني هو أن الانتقاء يعمل بالتدريج وبمقادير بسيطة لتشكيل الأعضاء الجديدة وأنه يجب أن يكون لكل مرحلة متوسطة بعض الميزة الانتقائية في ذلك الوقت، فيبدو أن العين تقدّم مثالاً جيداً على وجود **فجوة** في التفسير الدارويني. وقد ميزت فجوات أخرى واضحة عديدة في هذه النظرية.

كان سجل المستحاثات أيام داروين ناقصاً كثيراً وهذا ما شجّع على الاعتقاد في بعض الأوساط، أنه ما زال هناك دور للخالق ليقوم به حيث من المفترض أن يظهر من حين لآخر خلال تاريخ التطور مثل ساحر يقوم بإصلاح مهمة غير مرضية: معيداً ترتيب بعض الذرات هنا ومازجاً جيناً هناك. ومع ذلك فلم يكن العديد من علماء اللاهوت مرتاحين لهذه الفكرة كما هو واضح في الملاحظة التالية التي أبداها هنري دراموند Henry Drummond منذ حوالي قرن من الزمان:

إن أولئك الذين يخضعون لإغراء الحفاظ على نقطة هنا أو هناك لصالح التدخل الإلهي الخاص، مؤهلون لينسوا أن هذا يستبعد الخالق نهائياً من باقي العملية. وإذا كان الخالق يظهر من حين لآخر، فإنه بالمقابل يختفي من حين لآخر. وإذا ظهر على المسرح عند أزمة حرجة، فإنه غائب عنه في الفترات الفاصلة. هل النظرية الأفضل هي إله- كلي، أم إله - بين الحين والآخر؟ بالتأكيد فإن فكرة إله حاضر دوماً، وهو إله التطور أعظم بكثير من صانع العجائب الذي يظهر بين الحين والآخر والذي هو الإله في اللاهوت القديم[٥].

اعترض بعض علماء اللاهوت على فكرة إله يعمل جزءاً من الوقت كبيولوجي بقوة بحيث أنهم اخترعوا المصطلح السلبي«**إله الفجوات**» لوصفه.[٦] إن الاعتراض الرئيس على إله الفجوات ليس الطبيعة سعيدة الحظ – وبالفعل الأقل كفاءة – لهذا النوع من المصممين فقط ولكن المخاطرة الموجودة دوماً بأن يسدّ التقدم العلمي بشكل منتظم هذه الفجوات بحيث يتراجع دور الإله إلى فترات فاصلة أقصر فأقصر وربما إلى إلغاء دوره بالكامل. فالإله الذي يقبع في الزوايا المظلمة من الجهل البشري لا بد وأن ينحسر دوره ببطء وثبات مع تقدم العلم.

وبالفعل أغلقت فجوات كثيرة. وإحدى هذه الفجوات بالفعل كانت العين وهي المثال المفضل ***للتعقيد الذي لا يمكن إنقاصه*** في القرن التاسع عشر. من السهل القول أن نصف عين لا فائدة لها. وأن أي نوع من الحساسية للضوء أفضل من لا شيء، وعلى هذا الأساس كان من الممكن إعادة بناء تاريخ تطوري مقبول للعين بدءاً من لا شيء أعقد من قطعة حساسة للضوء، وبحيث يقدم كل تأقلم بسيط أفضلية مختارة على الخطوة التي سبقتها [٧]. وفي الحقيقة فقد تطورت العيون مرات عدة باستخدام عدد من «التصاميم»المختلفة وهذا يقترح أنه ليس من الصعب على التنوع والانتقاء العشوائيين أن يقوما بالمهمة خطوة فخطوة مكدسين العديد من التغيرات الصغيرة. لقد دعم التفسير الداروينى أكثر من ذلك بحقيقة أن كثيراً من

المراحل المتوسطة في تطور العين المعقد لا تزال موجودة في عالم الحيوان: فهناك مخلوقات تستخدمها الآن.

التصميم الذكي في عالم الأحياء

سحر وليس علماً

على الرغم من سدّ الفجوات الذي استمر خلال القرن ونصف القرن الماضيين، فقد نقل مؤيدو إله الفجوات ببساطة الأهداف ليبحثوا عن فجوات أخرى. إن الشيء الحالي المفضّل بالنسبة لأنصار حركة التصميم الذكي في الولايات المتحدة هو الفلاغيلوم flagellum البكتيري. وهو أداة ذكية تحرّك الخلية حركة دورانية باستخدام محرك صغير. ادّعي أن لهذا النظام ***تعقيداً غير قابل للإنقاص***. أما لماذا كان الفلاغيلوم البكتيري أكثر تعقيداً غير قابل للإنقاص من العين فليس واضحاً وربما اعتقد المرء أن الدرس قد حفظ الآن. وعلى الرغم من أن وصفاً على شكل خطوة فخطوة للطريقة التي تطور بها الفلاغيلوم أبعد منا حالياً إلا أن الخلاصة معروفة بما في ذلك كيف استخدمت بعض العناصر في الأصل لأغراض أخرى واختيرت لتصنع محرك الفلاغيلوم

توضّح دراسة علم الأحياء أن الأحياء الحية عبارة عن آليات مرصوفة مع بعضها بعضاً، مؤلفة من احتمالات ونتائج كما تمليها الظروف. وعلى الرغم من أن أجزاء عديدة تعمل بشكل رائع، فإن كثيراً من «التصميم» يمتلك نوعاً من الافتعال حوله. وفي التطور يكفي أن تتمكن الأحياء من البقاء إذ لا يتوجب أن تكون كلها رولز رويس حيوية. ويحتوي عدد من خصائص الجسم البشري على عيوب مثل التجاور الخطير بين ممري الهواء والطعام في الحلق وكذلك القوة غير الكافية للعمود الفقري. وإذا كان هناك مصمم فمن الواضح أنه لم يدر العملية بشكل جيد.

إن النقطة الضعيفة في حجة «الفجوات» لجماعة التصميم الذكي هي أنه لا يوجد سبب على أية حال كي يمتلك علماء الأحياء **فوراً** الأجوبة كلها. ولأن شيئاً ما لا يمكن تفسيره بالتفصيل في زمن معين لا يعني بالضرورة أنه لا يمتلك تفسيراً طبيعياً: إنه يعني فقط أننا لا نعرف ما هو حتى الآن. إن الحياة معقدة جداً وإن الكشف عن قصة التطور بالتفصيل مشروع ضخم. وفي الحقيقة فإننا قد لا نعرف القصة الكاملة مطلقاً في بعض الحالات. ولأن التطور عملية تعمل على مدى بلايين السنين فمن المحتمل جداً أن تكون سجلات العديد من الخصائص التي تشبه التصميم قد محيت بالكامل. لكن هذا لا يشكّل عذراً للجوء إلى السحر لسد هذه الفجوات[٨].

إن إحدى الاختلاطات التي تحيط بدعاية جماعة **التصميم الذكي** هي الفشل في التمييز بين حقيقة التطور وآلية التطور. وغالباً ما يستشهد مؤيدو حركة التصميم بالمجادلات التي تجري بين علماء الأحياء على أنها دلائل على أن « الداروينية في خطر». وحتى لو كان الأمر كذلك فإن هذا لا يعني أن الحياة لم تتطور خلال بلايين السنين. إن الداروينية تقترح آلية مادية معينة. وقد توجد هناك آليات محتملة أخرى لدفع التطور. وعلى سبيل المثال قدم جين بابتست لامارك Jean-Baptiste Lamarck نظرية للتطور مبنية على فكرة ***توارث خصائص مكتسبة***. ويعني هذاأن خبرات الكائن الحي المكتسبة خلال حياته يمكن بحسب هذه النظرية، أن تمرر إلى الأولاد، ولذا فإن ابن شخص متحمّس لكمال الأجسام، على سبيل المثال يجب أن يمتلك عضلات أكبر من المتوسط. من المؤسف بالنسبة للامارك أن نظريته قد دحضت – قليلاً أو كثيراً. لكن المهم مع ذلك هو أن للنظرية نتائج محددة وقابلة للاختبار وهذا يؤهلها لتكون نظرية ***علمية***، وهو الشيء الذي لا يمكن أن يقال حول نظرية **التصميم الذكي**. إن أولئك الذين يعتقدون بأنه يجب تدريس مناهج بديلة عن الداروينية في المدارس يحسنون صنعاً باعتبار نظرية لامارك في التطور لهذا الغرض. وليس من غير المعقول (وبالتأكيد محتمل علمياً) أن تعمل نسخة راقية من تطور لامارك هنا وهناك مكمّلة الآلية الداروينية.

إن آلية التطور الممكنة الأخرى هي **التنظيم الذاتي**. ويطّور عدد من الأنظمة غير الحية أنماطاً معقدة وبنية تنظيمية من بدايات لا خصائص مميزة لها. وهي تقوم بذلك بشكل تلقائي تماماً بدون تنوع أو انتقاء بالمعنى الداروني. وعلى سبيل المثال تشكّل قطع الثلج أشكالاً سداسية معقدة ومميزة. ولا يمكن لأحد أن يقترح أن هناك جينات في قطع الثلج تقوم بذلك ولكن لا أحد أيضاً يقترح أنها من صنع مصمم ذكي. إنها تنتظم وتتركب ذاتياً وبشكل تلقائي طبقاً لقواعد رياضية وقوانين فيزيائية محددة. وبوجد التطور غير الداروني والمنظّم ذاتياً في الفيزياء والكيمياء والفلك وعلوم الأرض وحتى في شبكات كشبكة الانترنت. ومن الغريب أنها لم تحدث هنا أو هناك في علم الأحياء أيضاً ولكني قد أكون مخطئاً[٩]. وحتى لو كنت مصيباً فإن هذا لا يعني دحض الداروينية وإنما أنها ربما كانت وصفاً **جزئياً** فقط لآلية التطور. لكن الحلقة المفقودة ليست **ساحراً كونياً** بل عملية طبيعية تلتزم مبدأ في التنظيم مشتقاً من قوانين الفيزياء لا يزال بحاجة إلى تفسير.

وينشأ خلط أكثر في حجة التصميم الذكي غالياً من الفشل في التمييز بين **تطور الحياة و نشوء الحياة** – كيف انطلقت الحياة من البداية. لقد حذف داروين نفسه بشكل بارز أية إشارة إلى نشأة الحياة: «لقد قال أنه ربما على المرء أن يخمّن نشأة المادة أيضاً (وهي مسألة حلّت تماماً الآن)». ويجب الاعتراف بأن نشأة الحياة لا زالت لغزاً عميقاً. ولكن لا يمكن استخدام ذلك كدليل ضد تطورداروين لأن نشأة الحياة ليست جزءاً من نظرية التطور. ومن الواضح أننا نستطيع مناقشة تطور الحياة فقط على أساس أن الحياة موجودة مسبقاً. ولذا هل يمكن أن تكون نشأة الحياة الغامضة واحدة من تلك الفجوات «غير القابلة للإنقاص» التي يمكن لأعمال مصمم ذكي أن تقع فيها؟ لا أعتقد ذلك. ودعني أكرر تحذيري: إن مجرد كوننا لا نستطيع تفسير نشأة الحياة لا يجعل منها معجزة. ولا يعني ذلك أيضاً أننا لن نستطيع تفسيرها على الإطلاق – إنها مجرد مسألة صعبة ومعقدة حول حادث تم منذ زمن طويل

جداً ولم يترك أي أثر معروف. ولكنني متأكد أننا سنعرف كيف حدثت في المستقبل غير البعيد جداً.

وعلى الرغم من العودة الغريبة لحجة إله الفجوات في الولايات المتحدة فلا يزال صحيحاً أن نظرية داروين في التطور مع تعديلاتها، قد جفّفت مياه حجة التصميم الحيوي على وجود الله لبالي. ولكن ماذا عن حجج بالي الفلكية؟ هنا قد يكون الوضع أكثر تعقيداً.

قوانين بالتصميم مقابل

الاختيار الإنساني في كون متعدد

يدخل مظهر التصميم في الفلك وعلم الكون بشكل أكثر قوة عندما يتعلق الأمر بقوانين الفيزياء وبالتنظيم الكلي للكون وعلى الأخص فيما يتعلق بالتناغم الجيد و صداقة الكون للحياة اللتين ناقشتهما خلال هذا الكتاب. وهنا فإن حجة التصميم منيعة إلى حد كبير من هجوم داروين. ولا يمكن تطبيق الآلية الداروينية في التنوع والوراثة والانتقاء بسهولة على علم الكون[١٠]. فليس هناك معركة من أجل البقاء تتصارع فيها الأكوان بأظافر وأسنان حمر مورّثة خصائصها الناجحة لأطفالها الكونية، وليس هناك تنافس على الموارد أو صراع «يلتهم فيه كون كوناً آخر». قد يمكن القول أنه في نسخة التضخم المؤيد من نظرية الكون المتعدد فإن النصر هو لصالح المناطق الخالية بدون خصائص من بين الأكوان الفقاعية حيث لم يتوقف التضخم – إذا كان المرء يعني ب «انتصار» الحصول على الحجم الأكبر من الفضاء. ولكن من الواضح أن الداروينية ليست الإطار المناسب لتفسير ظاهرة التصميم الموجودة في الكون.

ومع ذلك فهناك احتمال **الانتقاء الإنساني** بدلاً من الانتقاء الدارويني. لقد ناقشت في الفصل السابق كيف أن نظرية الكون المتعدد مع الانتقاء الإنساني شكلت محاولة جادة لتفسير مظهر التصميم في الكون. لقد جذب هذا

التحدي من الكون المتعدد / الانتقاء الإنساني لنظرية التصميم الذكي اهتمام الكنيسة الرومانية الكاثوليكية. وكتب كريستوف شينبون Christoph Schonborn كاردينال فيينا مؤخراً في صحيفة نيويورك تايمز مايلي:

الآن في بداية القرن الحادي والعشرين بمواجهة الادعاءات العلمية لفرضيتي الداروينية الجديدة و الكون المتعدد في علم الكون، واللتين اخترعتا لتجنب الدليل الكاسح على الإرادة والتصميم في العلم الحديث، فإن الكنيسة الكاثوليكية ستدافع مرة أخرى عن المنطق الإنساني بالادعاء، بأن دليل التصميم الظاهر في الطبيعة، هو حقيقة. إن النظريات العلمية التي تحاول أن تفسر مظهر التصميم على أنه نتيجة «للصدفة والضرورة» ليست علمية على الإطلاق، ولكنها كما قال البابا جون بول الثاني اختطاف للذكاء البشري[11].

إن الرسالة المأخوذة من الكاردينال هي أن إقحام الكون المتعدد محاولة للابتعاد عن تفسير التصميم بدلاً من تفسيره وأن **وجود الله** تفسير أفضل وأبسط وأكثر مصداقية.

لذا دعنا نلقي نظرة على فرضية كون مظهر التصميم في الكون هو من صنع خالق – مصمم. وعلى الرغم من أن هذا لا يعد **بالتعريف** تفسيراً علمياً (لأنه يلجأ إلى سبب **من ما وراء الطبيعة**) إلا أنه لا يزال تفسيراً منطقياً. والسؤال هو ما جودته؟ نستطيع بشكل تقريبي تخيل مصمم ذكي على أنه كائن يتأمل قائمة شراء من الأكوان الممكنة، ويلحظ كوناً ملائماً للحياة ولوجود مراقبين ثم يبدأ العمل لخلقه ويهمل بقية الأكوان. ليس هناك شك أنه حتى بهذا الشكل التقريبي فإن فرضية مصمم ذكي مطبقة على قوانين الطبيعة أكثر تفوقاً بكثير من نظرية المصمم التي ذكرت في المقطع السابق والذي يخالف قوانين الطبيعة من حين لآخر باجتراح المعجزات في مسيرة التطور. إن التصميم بواسطة القوانين أكثر ذكاء بما لا يقارن من التصميم بالمعجزات. ولو كنت كائناً علوياً يريد أن يخلق كوناً قابلاً للعيش ككوننا وأستطيع تحقيق

ذلك ببساطة بخلق ما أريد عندما أريد فإنني لن أعتبر هذا عملاً ذكياً جداً. ولكن باختيار مجموعة من القوانين التي تستطيع - بدون إصلاحها أو التحكم بها من حين لآخر- أن تخلق كوناً وأن تخلق التنظيم الذاتي والتعقيد الذاتي والتجميع الذاتي للحياة والوعي - حسناً فإن هذا يبدو ذكياً جداً بالفعل! ولذا يبدو لي أن التصميم «الذكي» المحبوب من حركة التصميم الذكي ليس ذكياً على الإطلاق، بالمقارنة مع مصمم لقوانين الطبيعة التي لها بحد ذاتهاقدرة مدهشة خلاقة بدون الحاجة للتدخل أو للمعجزات.

لا يتعارض التصميم الذكي للقوانين مع العلم لأنه يقبل بأن يقوم الكون بإدارة نفسه بقوانين فيزيائية وأن يكون لكل شيء يحدث فيه تفسير طبيعي. ليست هناك معجزات سوى معجزة الطبيعة ذاتها. ولا تحتاج حتى إلى معجزة لنشوء الكون في المقام الأول لأن الانفجار الكبير قد يكون حدث ضمن مجال القوانين الفيزيائية أيضاً إما باستخدام الكونية الكمومية لتفسير منشأ الكون من لا شيء أو بافتراض شيء ما مثل التضخم المؤبد.

إن مصمم القوانين ***مسؤول*** عن الكون، ويمكن النظر إليه على **أنه حافظ** لوجود الكون عند كل لحظة لكنه لا يتدخل بعمله اليومي. إن نوع الإله الذي أصفه يقترب كما أعتقد من النوع الذي يعترف كثير من علماء اللاهوت - وقليل من العلماء - بالاعتقاد به. ولكن حتى هذه النسخة من **مصمم ذكي «بلا معجزات»** لا تخلو من نقاد. إن الاعتراض المحوري لإدخال مثل هذا الكائن لإيضاح المظهر الرائع للكون هو الطبيعة الاعتباطية للتفسير. وما لم يكن هناك مسبقاً سبب آخر للاعتقاد بوجود المصمم العظيم فإن مجرد الإعلان بأن «الله فعلها» لا ينبئنا بشيء على الإطلاق. إنه يقوم فقط بسد فجوة - وهي سر ملاءمة الكون للحياة - بسر آخر - وهو سر وجود مصمم ذكي. ولذا فإننا لم نتقدم خطوة واحدة إلى الأمام.

يجب أن يكون

المصمم الكوني خارج الزمان

هناك أيضاً المشكلة الكبيرة جداً المتعلقة بالزمان. فالزمان جزء من الكون المادي لا ينفصل عن المكان والمادة. ولذا على أي مصمم – خالق للكون أن يتسامى فوق الزمان والمكان والمادة أيضاً. أي على الإله أن يكون **خارج** الزمان إذا أريد له أن يكون مصمم الزمان وخالقه. كان القديس أغسطين مدركاً لذلك جيداً وقد أسس مدرسة فكرية تقول بأن الله كائن لا زماني ليس بمعنى أنه حي للأبد فقط ولكنه خارج الزمان بأكمله[١٢]. (كما شرحت سابقاً يمكن أن يكون للزمان بداية ونهاية. ولا يؤيد معظم علماء اللاهوت أن يبدأ الله مع بدء الزمان وأن ينتهي مع نهايته). إن الصعوبة بالنسبة لمصمم لا زماني هي في جعل فكرة التصميم مفهومة. ماذا يعني تصميم شيء «بلا زمان»؟ في الخبرة البشرية فإن المصمم كائن يفكرمسبقاً بعمق في عواقب بعض الخيارات ثم ينتقي خياراً معقولاً. ولكن «التفكير» و«مسبقاً » هي أوصاف لا بد أنها زمانية.

وحتى لو قبلت فكرة غامضة نوعاً ما عن «تصميم لا زماني» فستنشأ مشكلة أخرى تتعلق بخصائص خيار المصمم. هل من الممكن أن يكون المصمم قد اختار كوناً آخر، أو اختار أن لا يصنع كوناً على الإطلاق؟ لو كان الجواب لا فلن يكون للخالق بديل سوى أن يخلق هذا العالم، وأن لايلعب أي دور على الإطلاق في التفسير – ولذا لن يستحق لقب «مصمم». وتختزل الطبيعة إلى جزء من الكائن الإلهي بدلاً من أن تكون مخلوقاً منه – في الحقيقة يمكننا أن نستبعد فكرة المصمم كلية. ومع ذلك يعتقد المسيحيون تقليدياً بشيء مختلف عن هذا تماماً. فهم يعتقدون أن الله خلق هذا العالم بالذات بإرادة حرة: أي أن الله كان حراً لو شاء أن لا يخلق العالم. ولكن هذا يجلب معه مجموعته الخاصة من المشاكل لأن بإمكاننا السؤال عندئذ: لماذا اختار الله أن يخلق **هذا** العالم بدلاً من عالم لا حياة فيه أو من عالم بقدر

أعظم من المعاناة. إذا كان الجواب هو «إنه غير مفهوم» فستنتهي سلسلة التفسيرات. وإذا كان الجواب هو أن الاختيار كان أعمى فسيضيع عنصر التصميم مرة أخرى، لأنه لو كان الاختيار جذّاباً فقط فسيختزل الكون إلى لعبة إلهية. ولكن لو أن الجواب كان بأن قرار صنع العالم كان قراراً عميقاً ومقدّراً ناجماً عن طبيعة الخالق فسيتشجع المرء ليسأل عن مصدر هذه الطبيعة. وبعبارات أخرى من صمّم المصمم؟ وهذا شكل من أشكال المعضلة القديمة «من خلق الله؟».

تخمينات (بعضها مبالغ فيها)

حول طبيعة الله

تأتي إحدى طرق تجنب معضلة خالق الخالق من اقتراح خيالي لعالم الكون ادوارد هاريسون Edward Harrison قدّمه ضمن سياق نظرية الكون المتعدد[١٣]. إذا قبل المرء أن هناك عدداً من الأكوان وأن من الممكن خلق الأكوان بعمليات طبيعية بقوانين وثوابت وظروف أولية مختلفة، فإنها ليست سوى خطوة قصيرة للافتراض بأن كوننا هو الناتج المصمم من قبل مصمم ذكي تطور بشكل طبيعي في كون أسبق. يتخيل هاريسون مجموعة عشوائية من الأكوان حيث تؤدي بعض الأكوان الجيبية فيها إلى نشوء الحياة و الذكاء بالصدفة المحضة. ويطور أحد هذه الأكوان ذكاء فائقاً متقدماً تقنياً إلى الحد الذي يمكنه خلق أكوان مولودة بحسب الطلب (على سبيل المثال بواسطة التحكم في آلية توليد الأكوان). وتصمم هذه الأكوان الوليدة عن قصد لتلائم نشوء الحياة والمراقبين. وسيكون كوننا عندئذ منتج إله طبيعي تطور بواسطة عمليات التطور الداروينية القديمة في كون سابق. ولمثل هذا الكائن تاريخ طويل في الفلسفة الدينية ويشار إليه عادة بالكلمة ديمورج demiurge. كان ديمورج أفلاطون خالقاً قوياً للعالم الذي نراه ولكنه مع ذلك كان عليه أن يعمل ضمن الموارد والقوانين المتاحة. إن الديمورج ليس قادراً على كل شيء كما

هو الله في الديانات التوحيدية. ولكن إله هاريسون ديمورج متفوق لأنه يستطيع اختيار شكل المادة **وأيضاً** قوانين الفيزياء منخفضة الطاقة بتشكيل كون في المنطقة الملائمة من منظر نظرية الأوتار مثلاً[١٤]. ولكن على الرغم من ذلك لا زال هذا الإله ملزماً بقوانين نظرية الأوتار/ M (أو أية نظرية موحدة أخرى يمكن للمرء تصورها) وبفيزياء آلية توليد الأكوان.

يحمل تخيل هاريسون أصداء من «الذكاء الفائق» لهويل الذي تعمّد «اللعب بقوانين الفيزياء» وبصانع النجم في رواية أولاف ستابلدون Olaf Stapledon الشهيرة[١٥]. كره هويل الإله المسيحي التقليدي الذي يخلق العالم كخيار حر لأن هذا يوحي بقلب العلاقة بين الخالق والمخلوق: المخلوق يعتمد على الله لكن الله لايتأثر بعملية الخلق. وإذا كان الإله لا يحتاج لخلق العالم ولا يتأثر به فلماذا تكلف عناء عملية الخلق إذن؟ يمكن تجنب هذا المخاض المنطقي كما يشير هويل إذا وجد الله فقط «بدعم الكون له»[١٦]. وبهذا عنى هويل أن الإله يوجد ضمن الكون (أو الكون المتعدد) بدل أن يكون أسمى منه.

عبّر أندري ليندي Andrei Linde عن أفكار مماثلة في ورقة غريبة بعنوان «الفن الصعب في خلق الكون» ناقس فيها وجود حضارة فائقة تتحكم بدرجة الحرارة والضغط والحقول الخارجية بحيث تشكل ولادة كون بفيزياء منخفضة الطاقة يشجع نشوء الحياة «لإرسال رسالة إلى أولئك الذين سيعيشون في الكون» [١٧]. وكان كون «رسالة في قارورة» الموضوع الذي تناوله هاينز باغل Heinz Pagels حيث تساءل فيما إذا كانت قوانين الفيزياء الرائعة والمشجعة للحياة – التي دعاها «شيفرة الكون» – رسالة من الديميرج:

«إن العلماء وهم يكتشفون هذه الشيفرة، إنما يفكّون رسالة الديميرج المخفية، والحيل التي استخدمها لخلق الكون. لا يمكن لأي عقل بشري أن

يرتّب لمثل هذه الرسالة المتسقة الخالية من الأخطاء والعبقرية والغريبة أحياناً. لا بد أنها من صنع كائن خارجي ذكي »[١٨].

جاهد باغل ليبيّن أن ديميرجه أو «الذكاء الخارجي» هو مجرد تجربة فكرية ممتعة وأن الكائن المذكور قد «أخرج نفسه من الشيفرة» بطريقة ما. ولاءم الكاتب العلمي جيمس غاردنر James Gardner المبدأ العام نفسه مع ما أطلق عليه «الكون الحيوي الأناني». وتتلخص فكرته في أن الكون نظام ذاتي التنظيم وذاتي التوالد تظهر الحياة والذكاء فيه لتخلق عوالم جديدة لها حياة وذكاء بحيث تتناغم «أزرار آلة المصمم» بشكل ملائم «بحسب النظرية» ويكتب «تكون القوانين والثوابت صديقة للحياة بالضبط لأنها صممت عمداً من قبل كائنات حية فائقة الذكاء في دورة كونية سابقة لمنح كوننا القدرة على تناسل مانح - للحياة»[١٩].

حان الوقت الآن للقيام باختبار الحقيقة. في بحثنا عن تفسير لملاءمة الكون للحياة صادفنا مزيجاً مشوشاً من التخمينات تراوحت من المثيرة إلى المتهاوية جداً. احتوت بعض الأفكار أكواناً ملفقة صممت من قبل خالقين ملفقين ومن أكوان متعددة تمتلك الخصائص التي يمكن تصورها كلها والآن من كائنات فائقة الذكاء شبيهة بالآلهة تتطور بشكل طبيعي ولكنها تستمر بعد ذلك لتخلق أكواناً بكاملها لأغراضها الخاصة أو لتتحكم فيها. وتقدم هذه النظريات الخيالية كلها مادة رائعة لأدب الخيال العلمي المسلي مخلفّة وراءها حقل العلم المحترف. ولولا أن من بين المخمنين بعض العلماء المميزين **لرفض النقاش بدون أي جدال**. إن اندفاع بعض العقول الكبيرة لاستكشاف مثل هذه الأفكار الغريبة شاهد على الطبيعة الصعبة للمسائل المطروحة. وعلينا أن نفهم بطريقة ما كيف تتصل الحياة بعلم الكون (ما لم نستبعد هذا الاتصال على أنه خيالي). ولكن حتى لو كنا

مستعدين لتعليق عدم الإيمان والقبول بإله طبيعي كفرضية فعالة فإن المهمة لا تزال نصف منجزة.

الإله ككائن لازم بالضرورة

إن العيب الرئيس في إدخال فكرة الديميرج والإله العادي هو أنها لا تعالج التفسير النهائي للوجود. وعلى المرء أن يفترض أن نوعاً من الكون أو الكون المتعدد وجد مسبقاً قبل أن يتمكن الإله أو الآلهة من الظهور. ومن غير المحتمل أن يولّد هذا انطباعاً جيداً لدى علماء اللاهوت المحترفين. فهم يحاججون لصالح وجود إله سام وخالد خارج الأكوان عند كل الأزمان ومسؤول عنها. لقد واجه اللاهوتيون حجة «من صنع الإله» لقرون، وكان لديهم الوقت الكافي للعثور على أجوبة مهمة. إن المبدأ المسيحي التقليدي هو أنه ليس هناك خالق للإله. وبدلاً من ذلك فالإله كائن بالضرورة - كائن لازم بذاته. وبعبارات أخرى فمن المستحيل منطقياً للإله أن لا يوجد. إن حالة «لا إله» لا معنى لها.

ليس من الواضح بالنسبة لي فيما إذا كان مثل هذا الاستنتاج صحيحاً منطقياً أو متماسكاً فكرياً (وحتى الفلاسفة المحترفين لا يزالون يتخاصمون حوله)[20] ولكن حتى لو كان كذلك فإننا لن ننتهي. فالمسيحيون مثل كل الموحدين يؤمنون بإله واحد. ولذا فهم بحاجة ليبيّنوا ليس فقط أن الله موجود بالضرورة، ولكنه متفرد بصفاته (ليس كمثله شيء) بالضرورة أيضاً- و إلا فسيكون هناك عدد لا يحصى من الكائنات الموجودة بالضرورة يخلقون أكواناً لا تحصى. وحتى لو أمكن حل هذه المسائل كلها فلا نزال نواجه المشكلة بأنه على الرغم من ضرورة وجود الله وطبيعته إلا أنه لم يخلق ***بالضرورة*** العالم كما هو ولكنه عوضاً عن ذلك ***اختار*** أن يفعل ذلك فقط. لكن أجراس الإنذار تدق الآن. هل يمكن لكائن بالضرورة أن يتصرف بطريقة غير ضرورية؟[21] هل هذا معقول؟ ظاهرياً لا يبدو الأمر كذلك. لو كان الإله ضرورياً كما هو

فإن خيارات الله ضرورية كما هي. وبالتالي فإن حرية الخيار تتبخر[٢٢]. ومع ذلك هناك تاريخ طويل من المحاولات للإلتفاف حول هذه المعضلة، وللتوفيق بين إله بالضرورة وبين كون مشروط يعتمد عليه[٢٣]. مشوش؟ بالتأكيد فإنني كذلك. لست فيلسوفاً متميزاً بما يكفي لأقيّم هذه التفاسير التي تصبح تقنية جداً. إن هذه الحجج مجردة ومعقدة وصعبة ولا بد أن يثار السؤال فيما إذا كان شيء مثل تفسير الكون المتعدد / الإنساني أسهل إدراكاً وأكثر قبولاً.

فقط لو كان هذا صحيحاً.

من صمم الكون المتعدد؟

إذا كانت فكرة الله قد دخلت في مخاضة وجودية ومنطقية فإن فكرة الكون المتعدد تعتبر أفضل بقليل فقط. وكما يمكن للمرء أن يسأل ببراءة من خلق الله أو من صمم المصمم، يمكن للمرء أيضاً أن يسأل لماذا يوجد كون متعدد ومن أو ماذا صممه. وعلى الرغم من أن الدافع القوي لتقديم فكرة الكون المتعدد هو التخلّص من الحاجة للتصميم إلا أن ذلك ناجح جزئياً فقط. ومثل الصدمة المعروفة في سجادة فإن نماذج الكون المتعدد الشائعة تقوم فقط بنقل المشكلة من مكان إلى آخر – ترفعها درجة في المستوى **من كون إلى كون متعدد**. ولتقدير ذلك على المرء فقط أن يسجل الافتراضات العديدة التي تؤسس لنظرية الكون المتعدد.

أولاً: يجب أن تكون هناك آلية لتشكيل الأكوان مثل التضخم الأبدي. ويفترض أن تشتمل هذه الآلية على عملية طبيعية شبه قانونية – في حالة التضخم الأبدي «تشكل نوى» كموّمية لأكوان جيبية بالضبط. ولكن هذا يثير السؤال الطبيعي عن مصدر القوانين الكمومية (هذا عدا عن قوانين الثقالة بما في ذلك البنية الطبيعية للزمكان التي تعتمد عليها هذه القوانين) التي تسمح بالتضخم. وفي نظرية الكون المتعدد النموذجية تقبل قوانين توليد الأكوان

كشيء **معطى**: فهي لا تأتي من نظرية الكون المتعدد نفسها. وثانياً على المرء أن يفترض أنه على الرغم من أن للأكوان الجيبية المختلفة قوانين مختلفة موزعة ربما بشكل عشوائي، إلا أنه مع ذلك توجد قوانين من نوع ما في كل كون. وأبعد من ذلك فإن هذه القوانين محددة تماماً من حيث الشكل: فهي توصف بعلاقات رياضية (كنقيض لمبادئ أخلاقية أو جمالية). وبالفعل فالموضوع بأكمله مؤسس على افتراض أن من الممكن وصف الكون المتعدد بواسطة (مجموعة محددة من) الرياضيات.

وأكثر من ذلك، إذا قبلنا أنه من الممكن التنبؤ بالكون المتعدد بواسطة نظرية الأوتار /M فإن هذه النظرية بشكلها الرياضي المحدد يجب أن تقبل على أنها شيء **معطى** – أي أنها موجودة بدون الحاجة إلى تفسير. ويمكن للمرء أن يتخيل نظرية موحّدة مختلفة – نظرية N مثلاً – بمشهد كثيف من الاحتمالات. وليس هناك حد على عدد النظريات الموحدة الممكنة التي يمكن للمرء أن يخترعها: نظرية O ونظرية P ونظرية Q..... ومع ذلك من المفترض أن واحدة منها هي «الصحيحة» – بدون تفسير. والآن ربما يمكن المحاججة بأن نظرية محترمة لكل شيء ستخرج من مستوى أعمق من المحاكمة العقلية، وستحتوي على علاقات رياضية طبيعية وأنيقة، برهنت عن نفسها للرياضيين النظريين نظراً لخصائصها المميزة. وسوف – هل يجرؤ المرء على القول؟ – تعطي إحساساً بالتصميم الذكي. (بالتأكيد يعتبر الفيزيائيون النظريون الذين يصوغون مثل هذه النظريات أن عملهم صمم بعبقرية). وفي الماضي كان جمال الرياضيات وعمقها دليلاً موثوقاً على الحقيقة. وكان الفيزيائيون منجذبين إلى العلاقات الرياضية الأنيقة التي تربط الموضوع بعضه بعضاً بأسلوب وإيجاز يصهران الصفات المتباعدة بطرق ذكية ومنسجمة. ولكن هذا سيجلب عاملاً جديداً إلى النقاش – مسائل تتعلق بالجمال والذوق. وهنا فإننا نقف على رمال متحركة بالتأكيد. فقد تكون نظرية M جميلة بالنسبة لصانعيها

ولكنها قبيحة يالنسبة لمنظري النظرية N الذين يعتقدون أن نظريتهم هي الأجمل. ولكن منظري النظرية O سيخالفون الفريقين معاً...... وهكذا.

لو كانت هناك نظرية موحدة نهائية

فسيكون الخالق بلا عمل

دعني الآن ألتفت نحو البديل العلمي الرئيس للكون المتعدد: الوجود المحتمل لنظرية نهائية **فريدة** لكل شيء وهي النظرية التي تسمح بكون **واحد** فقط[٢٤]. تذكر أن عدداً من العلماء بمن فيهم بعض منظري نظرية الأوتار البارزين، مثل ديفيد غروس يستهزئون بنظرية الكون المتعدد، معتبرين أولئك الذي يروّجونها على أنهم «متخاذلون». وهم مقتنعون بأن نظرية فريدة تصف عالماً فريداً حيث تكون القوانين والثوابت كلها محددة جيداً من قبل النظرية ستظهر في نهاية المطاف – وربما في يوم قريب جداً. لقد أشار آينشتاين مرة إلى أن أعظم ما أثار اهتمامه هو «إذا كان لله أي خيار في خلق الكون». لو كان غروس محقاً فالجواب لا: فالكون يجب أن يكون على الحال التي هو عليها. هناك كون واحد فقط يمكن أن يكون متّسقاً ذاتياً رياضياً. وإذا لم يكن هناك خيار فلن يكون هناك لزوم لأي كائن يختار. ولن يكون هناك شيء للخالق ليفعله لأن الكون سيكون بالضرورة على ما هو عليه.

علىٰ الرغم من أن فكرة «**عدم وجود عامل حر**» قد تبدو جذابة إلا أن هناك مشكلة. لو كانت صحيحة فإنها ستترك صداقة الكون للحياة معلقة على أنها صدفة بحتة. وهنا نظرية افتراضية فريدة صدف أنها بالضرورة تسمح بوجود الحياة والعقل. كم هذا ملائم جداً ! لأخذ بعض الفكرة عما نحن مدعون للاعتقاد به خذ مثالاً على ذلك[٢٥]. فالرقم π الذي يعرّف على أنه حاصل قسمة محيط الدائرة على قطرها اكتشف من قبل مهندسين في اليونان القديمة. ولكنه مع ذلك يظهر في عدد من السياقات في العالم الطبيعي تمتد من حركات الكواكب إلى الأشكال التي تصنعها الأمواج. ويمكن للمرء أن يقول أن π

مبني في داخل بنية الكون المادي. ولكن لا يمكن التعبيرعنه كنسبة لأرقام صحيحة (فهذا ليس منطقياً باستخدام المصطلح التقني) ولكن يجب تمديده على شكل رقم لا متناه: ..... ٣,١٤١٥٩٢، بدون أية نهاية لسلسلة الأرقام. ويمكن أيضاً التعبير عنه كسلسلة من أرقام ثنائية لا متناهية من ال ١ و٠. وتظهر الاختبارات الإحصائية أن هذه السلاسل من الأرقام الثنائية والعشرية عشوائية تماماً. ولا تقدم معرفة المليون الأول من الأرقام ل π أي دليل على الإطلاق على الرقم واحد بعد المليون.

تصور بعد ذلك أن التعبير الثنائي اللامتناهي للعدد π عرض على شاشة حاسوب على شكل صورة بسيطة بجعل ال١ يعادل بيكسل لامع و٠ بيكسل غامق، بدءاً من الرقم الأول والاستمرار إلى ما لا نهاية. ولأن السلسلة عشوائية فإنها ستولد شاشة بعد شاشة من «كرات الثلج» غير المثيرة. ومع ذلك فإنها خاصة من خصائص العشوائية وهي أن أي شيء ممكن سيحدث أولاً أو آخراً. ويعني هذا أنه في هذه الحالة فإن شاشة تحتوي شكلاً متناسقاً – دائرة مثلاً ستكون هناك في مكان ما في أعماق التعبير الثنائي للعدد π. من السهل حساب أن احتمال حدوث هذا الشيء ضئيل جداً على أساس أن يقوم الحاسوب يعرض شاشة جديدة تظهر التعبير الثنائي المتواصل للعدد π كل ثانية طيلة عمر كامل ولا تزال لديك فرصة ضئيلة لرؤية دائرة. ومع ذلك فهناك احتمال لايساوي الصفر أن هذا يمكن له أن يحدث. وينطبق المنطق نفسه على أشكال أكثر تعقيداً مثل صور الوجوه ولكن كلما تعقدت الصورة كلما تناقص احتمال رؤيتها على الإطلاق.

تصور الآن أن هذه التجربة أجريت وبعد دقيقتين يظهر وجه يبتسم على الشاشة! ما الذي يمكن للمرء أن يفهمه من هذا؟ إن القول بأن المرء سيدهش مجرد تهوين فهناك شك قوي بوجود نوع من أنواع الحيل. ومع ذلك، فإن التعبير الثنائي عن العدد π مثبّت بشكل فريد بقواعد الرياضيات. وليست هناك عوامل حرة للعب بها ل «خلق وجه». إذا كان هناك وجه فإنه موجود

بسبب المنطق الجامد للأرقام الحقيقية : ولا نحتاج لنقديم أي تفسير أكثر من ذلك. والشيء نفسه صحيح بالنسبة لنظرية كل شيء الفريدة بدون متحولات والتي كنتيجة لصدفة منطقها الرياضي الداخلي، تصف كوناً يسمح بالحياة (إذا كانت هذه النظرية موجودة فعلاً). وبالطبع إذا كنت لا تعتقد أن الحياة والعقل شيئان مميزان فإن مثال العدد π لن يفيد في هذه الحالة. ولكنني أعتقد أن الحياة والعقل شيئان مميزان لأسباب سأشرحها في الفصل القادم. ويبدو لي أن نظرية رياضية فريدة لا تقدم أية إشارة للحياة ولكنها مع ذلك تؤدي إلى وجود حياة غير قابلة للتصديق كما لو أن وجهاً قفز من بين الأرقام الأولى للعدد π.

نظرية نهائية فريدة

يبدو أنها مزورة مسبقاً

وهناك حجة أخرى أكثر مباشرة ضد فكرة نظرية نهائية موحدة. إن وظيفة الفيزيائي النظري هي أن يبني نماذج رياضية للعالم. و غالباً ما تدعى هذه النماذج بنماذج لعب: من الواضح أنها بعيدة جداً عن الواقع لتؤهلها أن تكون وصفاً جاداً للطبيعة. ويشكّل الفيزيائيون هذه النماذج أحياناً كنوع من التجربة لاختبار اتّساق بعض التقنيات الرياضية، ولكن عادة لأن نموذج اللعبة يلتقط بدقة ناحية ما محددة من العالم الواقعي على الرغم من أنه غير قادر على التقاط بقية النواحي الأخرى. وتكمن جاذبية هذه النماذج المصغرة عن العالم الواقعي في أنها سهلة الاختبار رياضياً، ويمكن للحلول أن تكون مفيدة للعالم الواقعي حتى ولو كان النموذج بكامله غير واقعي.

ونموذج جيد على ذلك هو المستخدم لحل مشكلة بأقل من الأبعاد الثلاث للمكان. لقد جربت كثيرا منها بنفسي في السبعينات. كنت مهتماً بحقول كمومية تنتشر في زمكان منحن وكان من الممكن أحياناً حل المعادلات تماماً بافتراض أن للمكان بعداً واحداً بدلاً من ثلاثة أبعاد. وبالنسبة لبعض ظروف العالم الواقعي يلعب البعدان الآخران اللذان حذفتهما دوراً ثانوياً ولذا فقد

قدمت حساباتي القائمة على بعد واحد دليلاً مفيداً. ولا تصف مثل نماذج اللعب هذه العالم الواقعي لكن بدائل أفقر منه. ومع ذلك فهي تصف عوالم **ممكنة**. وعلى أي شخص يريد أن يحاجج أنه من الممكن وجود نظرية واحدة **فقط** متسقة – ذاتياً حقاً للكون، أن يعطي سبباً لكون هذه النماذج الرياضية التي لا تحصى والتي تشغل صفحات مجلات الرياضيات والفيزياء هي أوصاف غير مقبولة نوعاً ما لعوالم ممكنة منطقياً[٢٦].

ليس من الضروري اعتبار أكوان مختلفة جذرياً من أجل برهان النقطة السابقة. دعنا نبدأ بالكون كما نعرفه ونغير شيئاً ما بالإجازة: على سبيل المثال اجعل الإلكترون أثقل ودع كل شيء آخر على حاله. ألا يصف هذا الترتيب كوناً محتملاً ناهيك عن كونه مختلفاً عن كوننا؟ توقف! «يصرخ أنصار نظرية عدم وجود عوامل حرة». لا يمكنك أن تثبّت ثوابت الطبيعة كما تشاء وتعلن أن لديك نظرية لكل شيء! فبالنسبة لنظرية ما هناك شيء أكبر بكثير من مجرد قائمة جافة من الأرقام. يجب أن يكون هناك إطار رياضي موحّد تظهر منه هذه الأرقام كجزء بسيط فقط من القصة. هذا صحيح. ولكن بإمكاني دوماً أن أطبّق مجموعة محددة من العوامل على عدد لا نهائي من البنى الرياضية بالتجربة والخطأ إذا كان ذلك ضرورياً. وبالطبع قد تكون هذه البنى الرياضية قبيحة ومعقدة ولكن هذا حكم جمالي وليس حكماً منطقياً. ولذا من الواضح أنه ليست هناك نظرية فريدة لكل شيء إذا كان المرء مستعداً لقبول أكوان محتملة أخرى ورياضيات قبيحة.

وعلى الرغم من أن الحجة التي قدّمتها تبدو غير قابلة للتحدي فإن العديد من الفيزيائيين سيكونون راضين بالاقتناع بادعاء أضعف من الإدعاء بأن من غير الممكن أن يكون الكون مختلفاً عما هو عليه. وبالتأكيد قد يوجد عدد كبير من نظريات كل شيء الرياضية المتسقة تصف أكواناً مختلفة عن كوننا ولكن عندما يتعلق الأمر **بهذا** الكون، فربما كانت هناك نظرية واحدة فقط متسقة – ذاتياً. وربما لو علمنا ما يكفي حول النظريات الموحدة فسنجد

أن وضعاً واحداً لأزرار آلة المصمم (أي نظرية واحدة) تلائم الحقائق المعروفة عن العالم كلها – ليس مجرد قيم ثوابت الطبيعة ولكن أموراً أخرى مثل وجود الحياة والمراقبين. سيكون هذا بالتأكيد شيئاً مميزاً! ومن الممكن أن هناك عدداً من نظريات (عدم وجود متحولات) الممكنة تصف عدداً من الأكوان الوحيدة الممكنة ولكن واحدة فقط من هذه النظريات **تطبق الحقائق الملاحظة كلها حول هذا الكون**. وبالتأكيد فإن هذه النظرية التي تشبه الكأس المقدس الخيالي تحل معامل غولديلوك Goldilock دون اللجوء إلى التصميم الذكي أو الكون المتعدد.

لكنها لسوء الحظ لن تقوم بذلك لأن السؤال يبقى: لماذا هذه النظرية بالذات – النظرية التي تسمح بكون ملائم للحياة – هي «النظرية المختارة». عبّر ستيفان هاوكنغ عن ذلك ببلاغة أكثر: «ما الذي ينفخ النار في المعادلات ويخلق لهم كوناً ليصفوه؟» [٢٧] من أو ما الذي يقوم بالاختيار؟ من أو ما الذي يطوّر «الممكن فقط» ليكون «الموجود فعلاً؟» هذا السؤال مماثل لمسألة «من خلق الإله» أو «من صمم المصمم». ولا زال علينا أن نقبل «كمعطى» وبدون تفسيرنظرية معينة واحدة ووصفاً رياضياً واحداً من عدد لا يحصى من الاحتمالات. وستكون الأكوان الموصوفة كلها من قبل النظريات الأخرى جميعها جرداء تقريباً.

ربما لا يوجد سبب على الإطلاق لماذا اختير«الكون المختار». ربما كان ذلك اعتباطياً. وإذا كان الأمر كذلك فلا يزال معامل غولديلوك Goldilock لدينا. ما احتمالات أن تصف نظرية كل شيء مختارة عشوائياً، كوناً يسمح بوجود حياة؟ ضئيلة. هناك عدد من أوضاع الأزرار المثبتة في آلة المصمم ممثلة أكواناً وحيدة عقيمة ممكنة منطقياً وقبيحة رياضياً وبدون متحولات حرة. ولو كان أي من هذه الاحتمالات الكثيرة جداً هو الذي «نفخت النار فيه» (من قبل مصمم ربما بذوق سيء) فلن نعرف عنه لأنه سيمر بدون

أن يلاحظ أ و يهتم به أحد. ولذا يبقى سبب كون هذا الكون مع العقل والحياة هو «الكون المختار» سراً كاملاً[٢٨].

إن استنتاجي هو أن نظرية الكون المتعدد ونظرية عدم وجود متحولات حرة المزعومة، كلاهما يمضيان بعيداً في تفسير طبيعة الكون المادي ولكنهما مع ذلك لا يقدّمان، ولا يمكنهما أن يقدّما تفسيراً كاملاً ونهائياً لصلاحية الكون للحياة أو لماذا وجد أصلاً.

ما الذي يوجد وما الذي لا يوجد:

من أو ما الذي يقرر ذلك؟

وصلنا الآن إلى لب هذا النقاش بكامله وهي المشكلة التي حيّرت الفلاسفة وعلماء اللاهوت والعلماء لآلاف السنين:

ما الذي يقرر ما هو موجود!

بين الأسئلة الكبيرة التي سجّلتها في مقدمة هذا الكتاب فإن هذا السؤال هو من الأسئلة الكبيرة حقاً. يحتوي العالم المادي أشياء معينة – النجوم والكواكب والذرات والكائنات الحية على سبيل المثال. لماذا توجد **هذه** الأشياء دون الأشياء الأخرى؟ لماذا لا يكون الكون مملوءاً على سبيل المثال، بجلاتين أخضر رجراج أو بسلاسل محبوكة أو بأفكار مفككة.....؟ إن الاحتمالات محدودة بسبب قدرة خيالنا فقط. وينشأ النوع نفسه من المشاكل عندما نفكر بقوانين الفيزياء. لماذا تطيع الثقالة على سبيل المثال، قانون مقلوب التربيع بدلاً من مقلوب التكعيب؟ لماذا كان هناك نوعان من الشحنة الكهربائية (+ و–) بدلاً من أربعة؟ و.... هكذا دواليك. إن اللجوء إلى الكون المتعدد لا يؤدي إلا إلى إرجاع المشكلة إلى «لماذا ***ذاك*** الكون المتعدد بالذات؟ كما أن» اللجوء إلى كون وحيد بدون متحولات حرة موصوف بنظرية موحدة يستدعي الرد «لماذا **تلك** النظرية بالذات؟»

هل هناك مخرج من هذه المعضلة؟ هناك مخرج ولكنه صارم جداً. هناك اثنتان فقط مما يطلق عليهما مصطلح حالات «طبيعية» وأعني بذلك حالات لا تتطلب أي تبرير إضافي ولا منتقي ولا مصمم وليست اعتباطية أو بدون سبب. الحالة الأولى هي أنه ***لا شيء*** موجود. هذه الحالة بالتأكيد بسيطة وأفترض أن من الممكن وصفها بأنها أنيقة بطريقة موجزة ولكنها بكل وضوح خاطئة. ويمكننا بالتأكيد أن نستبعدها بالملاحظة. أما الحالة الطبيعية الثانية فهي أن ***كل شيء*** موجود. وأعني بهذا أن كل شيء **يمكنه** أن يوجد هو موجود **فعلاً**. الآن إن نقض هذا الزعم أصعب بكثير. فلا نستطيع أن نلاحظ كل شيء في الكون وعدم وجود دليل ليس مثل الدليل على عدم الوجود. ولا نستطيع التأكد من أن أي شيء معين يمكننا تخيله[٢٩] ليس موجوداً في **مكان ما** أبعد ربما من مجال أقوى أجهزتنا أو في كون مواز آخر.

هل من الممكن أن يوجد كل شيء؟

إن أحد المناصرين المتحمسين لهذه الفرضية المتطرفة هو ماكس تيغمارك Max Tegmark[٣٠]. كان ماكس يفكر في معضلة «نفخ النار» التي ناقشتها مسبقاً (أثناء تناول بعض زجاجات البيرة في بار). لقد تساءل «إذا كان الكون رياضياً بذاته، فلماذا اختيرت **واحدة فقط** من البنى الرياضية المتعددة لوصفه؟» يبدو أن هناك عدم تناظر أساسي مبني في قلب الحقيقة. ولاستعادة التناظر كاملاً، والتخلص من الحاجة إلى كائن يختار الكون، اقترح تيغمارك أن «كل بنية رياضية تتعلق بكون مواز». ولذا فإن هذا يمثل نظرية كون متعدد بامتياز. فإضافة إلى الكون المتعدد «**القياسي**» الذي وصفته مسبقاً، والمؤلف من فقاعات أخرى في الفضاء، لها قوانين فيزيائية أخرى، سيكون هناك شيء أكثر بكثير: «فعناصر هذا الكون المتعدد (المستمد) لا توجد في المكان نفسه، ولكنها موجودة خارج المكان والزمان. ومعظمها خالية ربما من مراقبين»[٣١].

ويعطي تيغمارك توضيحاً للبنى الرياضية الأخرى التي يفكر بها. «ماذا عن الزمان الذي يأتي بفترات متقطعة، كما هو الحال بالنسبة للحاسوب، بدلاً من أن يكون مستمراً؟ ماذا عن كون هو ببساطة مضلع فارغ بعشرة أبعاد؟»[٣٢] ويأخذ بالاعتبار أيضاً الكسور – وهي بنى رياضية لها أبعاد كسرية (على سبيل المثال البعد ٣/٣١) وهي غير منتظمة بشكل لا متناه. [٣٣] وستكون هناك أكوان متناثرة هي مجرد مجموعة من النقاط بدون اتصال، وأكوان أخرى تحوي أشياء يمكن عدها، ولكن العملية ٣*٤ لبيست مثل العملية ٤*٣. وقد تسمح بعض الأكوان ب «حساب فائق hypercomputation» – القدرة على حل مسائل رياضية تتطلب عدداً لانهائياً من الخطوات في كوننا. ويدرس الرياضيون هذه الأنواع من النظم طيلة الوقت، ويؤلفون النشرات العلمية حولها، كفروع للنظرية الرياضية. ويقترح تيغمارك أن لها أيضاً علاقة بالحقيقة الفيزيائية– في مكان ما.

إن ردة الفعل على كون تيغمارك المتعدد «كل شيء يصلح» [٣٤] هي أنه معقد للغاية، ويخرق بشكل فاضح أكثر القواعد أساسية في العلم، وهي سكين أوكام Occam's razor. ولكن تيغمارك يقول بأن كل شيء هو في الواقع أبسط من بعض الشيء. أي أنه غالباً ما يمكن تعريف الكل أكثر اقتصادية، من تعريف أي من أجزائه. ويمكن إعطاء مثال قوي بالبلورة اللامتناهية. فالبلورة اللامتناهية التامة تتألف من شبكة منتظمة ومتجانسة من الذرات بدون أي حد. ويمكن وصف بنيتها تماماً ببساطة، بتحديد المسافة الفاصلة بين الذرات المتجاورة، والتوضع الكلي، والتصريح بأنه لا يوجد للشبكة حدود. تصور الآن إزاحة مجموعة لا على التعيين من الذرات من هذه البلورة اللامتناهية التامة، بحيث يحتفظ بالترتيب ثلاثي الأبعاد للبلورة الأصلية، وللذرات المزاحة. بهذه الطريقة فقد قسمت المجموعة الأصلية من الذرات إلى

مجموعتين فرعيتين محددتين عشوائياً. وبالتعريف لا يمكن وصف مجموعة عشوائية بعدد أصغر من أحرف المعلومات من الذي تحتويه المجموعة نفسها[٣٥]. على سبيل المثال إذا أزحت مليون ذرة عشوائياً، فعليك أن تحدد مليون حرف من المعلومات لتحديد العملية. ولذا فإن كل مجموعة فرعية عبارة عن شيء معقد يحتاج إلى كثير من المعلومات لوصفه. ولكن ضع المجموعتين الفرعيتين مع بعضهما بعضاً مرة أخرى، فستحصل على شيء بسيط جداً ومن السهل وصفه.

وعلى الرغم من ثقالة اقتراح تيغمارك الظاهرية إلا أنه ليس بدون مشاكل. إن فكرة «كل شيء» مزحلقة نوعاً ما في الرياضيات، بسبب احتمالية مجموعات الإشارة الذاتية. وتعود هذه إلى المشاكل المعروفة جيداً التي تكمن في الأسس المنطقية للرياضيات، مثل معضلة حلاق برتراند رسل Bertrand Russell. فحلاق القرية يقص شعر كل الرجال الذين لا يقصون شعرهم بأنفسهم. فمن يقص شعر الحلاق إذن؟ لو كان الحلاق يقص شعره بنفسه، فهو ينتمي للمجموعة التي لا يقص الحلاق شعرها، ولذا فهو لا يقص شعره بنفسه. ولكن إذا كان لا يقص شعره بنفسه، فإن الحلاق هو من يقص شعره! وبكلتا الطريقتين، يحصل المرء على هراء متناقض. إن هذه الأحجية الصغيرة أكثر من أن تكون مجرد استطراد مسل: إنها تضع اليد على جذور الاتساق الرياضي نفسها، وتنفي أية محاولة بسيطة لتعريف الرياضيات بمجموعات أشياء تتبع مجموعات من القواعد. حتى الرياضيات الأساسية نفسها قابلة للتسوية[٣٦].

الاعتراض الثاني على فكرة تيغمارك هو أنها صيغت بمصطلحات رياضية. وهذا بالطبع ليس مستغرباً جداً من نظرية بنيت من قبل فيزيائي رياضي ودعمت باكتشاف أن الطبيعة هي في الحقيقة رياضية في الشكل.

ولكن إذا كنا في مقاطعة «أي شيء يصلح» فليس هناك سبب على الإطلاق لحصر أنفسنا في الرياضيات. إن فعل ذلك يستدعي السؤال **لماذا** كان الكون المتعدد رياضياً: من قرر **ذلك**؟ نستطيع بالتأكيد تصور أكوان متعددة تعرف بطرق أخرى. على سبيل المثال، مجموعة كل الأكوان الممتعة جمالياً، ومجموعة كل الأكوان الجيدة، أو الأكوان الشريرة، ومجموعة كل الآلهة، ومجموعة كل الحقائق الافتراضية. وحتى ضمن الحقل العام للرياضيات، يمكن للمرء أن يختبر قواعد المنطق القياسية التي أسست عليها الصيغ الرياضية، ويتصور كوناً متعدداً بمجموعة كل الأشياء المشتقة من كل أشكال المنطق الممكنة. لو كنت تعتقد حقاً أن كل شيء موجود، فيجب أن تكون كل الأكوان المتعددة الأخرى موجودة هناك أيضاً.

ربما كانت هناك؟ لكن القليل جداً من الناس يرغبون أن يمضوا مع تيغمارك إلى كامل المشوار. إن معظم العلماء حتى أولئك الذين يؤمنون بنوع ما من الكون المتعدد، يتوقفون قبل افتراض أن كل شيء حرفياً موجود. وهذا يعيدنا إلى المشكلة الأساسية التي واجهناها في بداية هذا المقطع ما الذي يقرر ما هو موجود؟

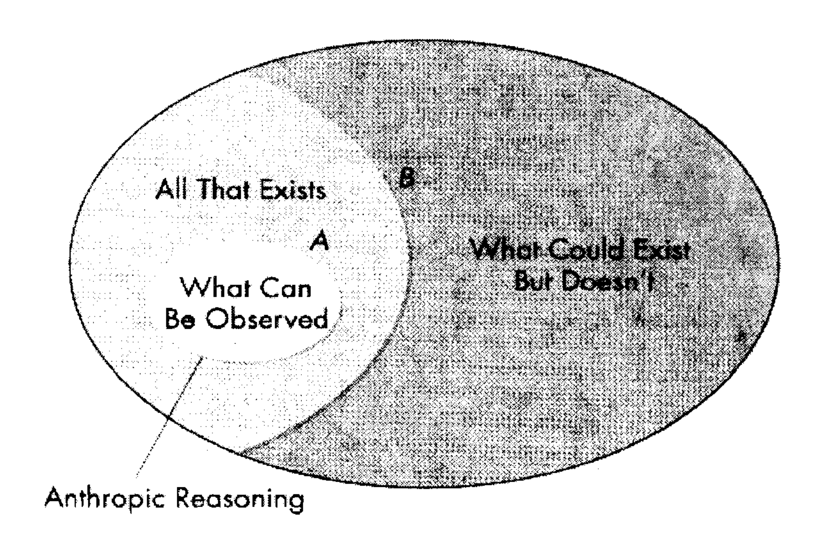
أصل القاعدة التي تفرّق بين ما يوجد وبين ما لا يوجد

لو أن كل شيء موجود فيجب أن يكون هناك وصف أو قاعدة تحدد كيف نفصل «الحقيقي» من «المحتمل – ولكنه في الحقيقة غير موجود». وعندها تبرز الأسئلة المحتمة: ما القاعدة النى تفصل بينهما؟ ما الذي يحدد بالضبط ذلك – الذي– يوجد، ويفصله عن ذلك – الذي – ربما – وجد– ولكنه– لم يوجد؟ هل هناك شيء ما يسحب من بئر الكيانات الممكنة الذي لا قعر له مجموعة ويمنح أعضاءها شرف الوجود؟ هل هناك شيء ما

«ينفخ النار في العلاقات» ويخلق لها كوناً أو كوناً متعدداً لتقوم بوصفه. ولا يقف اللغز عند هذا الحد. لا نحتاج فقط أن نميّز «من يقوم بنفخ النار» ليطور الممكن فقط إلى الموجود فعلاً ولكننا نحتاج أيضاً لأن نفكر بأصل القاعدة نفسها – القاعدة التي تقرر ما الذي تنفخ فيه النار وما الذي لا تنفخ فيه. من أين أتت تلك القاعدة؟ ولماذا تنطبق تلك القاعدة بدلاً من قاعدة أخرى؟ باختصار كيف اختير الشيء الصحيح؟ ألم نعد إلى نسخة معينة **من كائن مصمم/ خالق/ منتق هو كائن بالضرورة، يختار «القاعدة» و«ينفخ النار» فيها؟**

لخّصت هذه الأفكار في الشكل ٢٦ الذي يظهر ثلاث مجموعات هي مجموعة الأشياء التي يمكن للملاحظين المحتملين جميعهم أن يلحظوها من حيث المبدأ. ويمكن لهذه المجموعة أن تكون جزءاً – مجموعة فرعية – من مجموعة كل ما يوجد والتي هي محصورة ضمن الحد B. ويستبعد من المجموعة الفرعية ذات اللون الأخف والتي لا تزال ضمن حدود المجموعة B أكوان لا تملك حياة ولا مراقبين. أما المنطقة غامقة اللون على الجانب الآخر من الحدد B فهي مجموعة الأشياء التي يمكن من حيث المبدأ أن تكون قد وجدت ولكنها في الواقع غير موجودة. ويشكل اتحاد هذه المجموعات الثلاث مجموعة تمثل كل المحتمل منطقياً – أي كل الذي يمكن من حيث المبدأ أن يوجد.

دعنا نرى كيف تتعلق المحاولات الثلاث لشرح الكون بهذه المجموعات. اعتبر أولاً نظرية كل شيء بدون متحولات حرة. إن مناصريها يعلنون ببساطة تامة أن الحد A غير موجود: هناك كون واحد فقط – وهو الكون **الملاحظ** (انظر الشكل ٢٧) ولا قيمة لديهم لفكرة وجود «أكوان أخرى» لا ترى لأنها بدون حياة ولذا فقد أزيل الحد A. ولكن لسوء الحظ لا زال هناك الحد B. ولا تملك نظرية كل شيء ما تقوله حول الحد B: لقد ترك كسرٌ غامض.

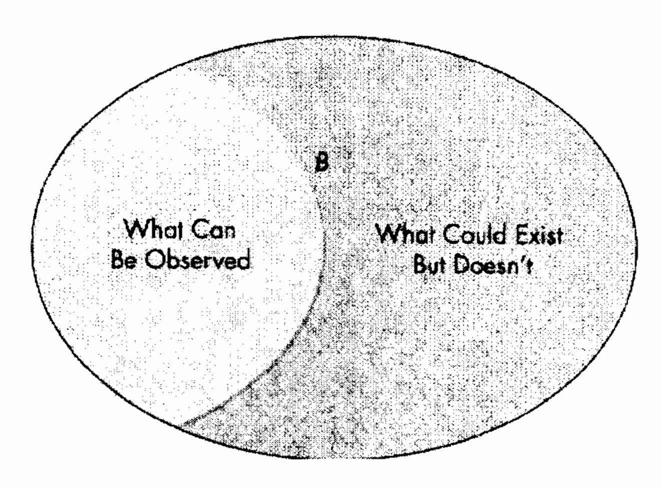


الشكل ٢٦ الوجود ضمن غلاف

وصف بياني لمجموعة كل الذي من المحتمل مبدئياً أن يوجد. أجري تمييز بين ما يوجد فعلاً وبين ما يمكن أن يوجد ولكنه غير موجود. وضمن المجموعة الأولى هناك مجموعة فرعية، تتألف من كل الذي يمكن مبدئياً ملاحظته. وقد ترك من هذه المجموعة خارجاً، أشياء أخرى موجودة ولكن لا يمكن ملاحظتها (أكوان لا تسمح بوجود الحياة، على سبيل المثال). ويمكن تطبيق المبدأ الإنساني على الحد A، لتفسير لماذا نلاحظ كوناً يسمح بالحياة، ولكن ليس على الحد B (لنقرر القاعدة التي تفصل بين ما يمكن أن يوجد من الموجود فعلاً).

كيف تقيّم نظرية الكون المتعدد؟ يتفق مناصروها على وجود حد A ويستدعون المبدأ الإنساني أو تأثير انتقاء المراقب لتفسير حجمه وشكله (مهما كان ذلك الحجم والشكل – فإننا لا نعرفهما حتى الآن). ومرة أخرى فلا يمكن لهذه النظرية أن تساعدنا على رسم حدود المجموعة الثانية، الحد B – الحد الفاصل بين مجموعة كل **الذي يوجد** ومجموعة كل الذي **يمكن** أن يوجد ولكنه غير موجود. إن الحد B أبعد عن متناول المنطق الإنساني. وربما كان بإمكان نظرية الكون المتعدد / المبدأ الانساني أن تفسر لماذا كان الكون صديقاً للحياة ولكنها ليست

نظرية كاملة للكون على الإطلاق مهما كان الادعاء بعكس ذلك. فلا تزال تترك الكثير بدون تفسير. فمن جهة نود أن نعرف من أو ما الذي رسم الحد B. الآن بحسب تيغمارك فإن الحد B غير موجود: وبحسب منطقه فإن مجموعة كل شيء موجود هي نفسها مجموعة كل ما يمكن أن يوجد. (انظر الشكل ٢٨). ولكن ما عدد الناس المستعدين حقاً أن يمضوا في التفكير إلى هذا الحد؟ وعندما يتعلق الأمر بمسألة الوجود يعتقد معظم الناس أن بعض الأشياء قد استبعدت. ولكن ما هي؟ ولما ذا تلك الأشياء بالذات؟



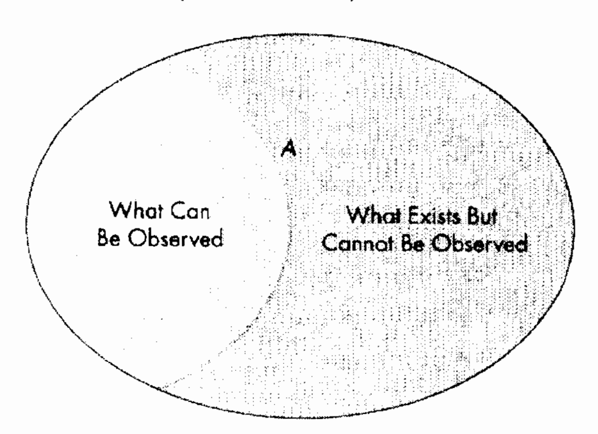
الشكل ٢٧: ما ذا لو كان هناك كون واحد فقط؟

كما في الشكل ٢٦ يصف هذا الشكل أيضاً كل ما يمكن من حيث المبدأ أن يوجد. ويأمل بعض الفيزيائيين أن يكون هناك كون واحد محتمل يتسق مع نظرية موحدة نهائية لكل شيء (على سبيل المثال نظرية M)، وأن ما نلاحظه هو هذا الكون. (يجب أن يكون هو). لو كانوا على حق، فإن ما يلاحظ هو كل ما يوجد. (قد لا يمكننا أن نلاحظه كله في وقت واحد، ولكن ما لا نلاحظه الآن سيكون من نوع الذي نلاحظه نفسه). ولكن لا تزال هذه النظرية الرياضية الفريدة لكل شيء لا تفسر لنا لماذا هذا الكون بالذات هو الكون الموجود بمقابل الأكوان الأخرى الممكنة منطقياً كلها التي «لم تنفخ فيها النار»، على سبيل المثال، أكوان وصفت بنظريات موحدة أخرى لا تتلاءم مع الحقائق الملاحظة في كوننا، والمرسومة هنا بالمنطقة ذات اللون الغامق على الطرف الآخر من الحد B.

تقول النظرية الثالثة بأن هناك نوعاً من **الانتقاء الإلهي**. وبمصطلحات عريضة تقول هذه النظرية إن الإله أو مجموعة الآلهة هي التي تحدد الحدين A و B. وفي اللاهوت المسيحي إما أن يتعالى الإله عن الأشياء الموجودة أو يحتويها كمجموعة فرعية. ولكن هناك الآن سر أبعد وحد آخر: الحد بين الإله الموجود حقيقة ومجموعة الآلهة المحتملة جميعها[٣٧].

قوة السلحفاة

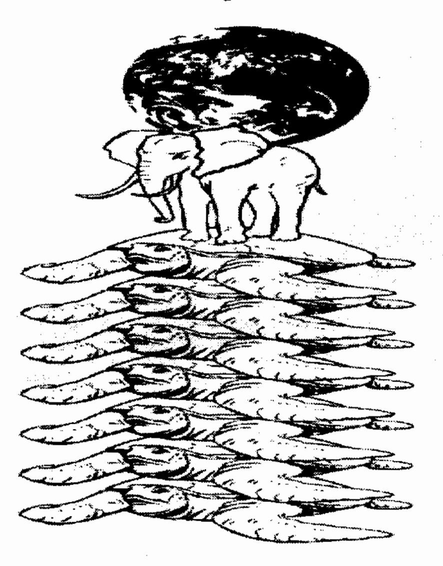
هناك حكاية شهيرة (عزيت من قبل بعضهم إلى برتراند راسل ومن قبل آخرين إلى الفيلسوف الأمريكي وليام جيمس William James في القرن التاسع عشر) حول محاضرة ألقيت عن طبيعة الكون. وخلال الحديث وقفت سيدة في الخلف وهاجمت المحاضر مدّعية أنها **تعرف** كيف خلق الكون: تستقر الأرض على ظهر فيل ضخم يقف فوق ظهر سلحفاة ضخمة. ورد المحاضر المندهش بالسؤال عما تقف عليه السلحفاة. لكن السيدة ردت عليه بقوة «قد تكون بارعاً جداً أيها الشاب ولكنك لا تستطيع خداعي. إنها سلاحف على طول الخط نحو الأسفل» (انظر الشكل ٢٩).



الشكل ٢٨ الكون المتعدد «أي شيء يصلح» لتيغمارك:

بالنسبة لماكس تيغمارك فكل ما يمكن أن يوجد هو موجود فعلاً: أي كل الأكوان الممكنة منطقياً الموصوفة بكل البنى الرياضية الممكنة، هي موجودة حقاً في مكان ما. قد يستخدم المبدأ الإنساني ليحدد المجموعة «الضئيلة» من الأكوان التي يمكن ملاحظتها (المنطقة ذات الظل الخفيف). البقية الموجودة على الطرف الآخر من الحد A هي مجموعة كل الأشياء الممكنة التي يمكن أن توجد – والتي توجد – والتي تمر بدون أن تلاحظ.

توضّح هذه الحكاية الطريفة مشكلة لا يمكن تجنبها تواجه محاولات إعطاء وصف كامل عن الحقيقة: كيف يمكن إنهاء سلسلة التفسيرات. في الحياة اليومية لكي «تفسر» شيئاً عليك أن تبدأ من نقطة ما. ولتجنب سلسلة لا نهائية – برج لا نهاية له من السلاحف – عليك في مرحلة ما أن تقبل بأن شيئاً ما «**معطى**» أي أنه شيء يقبله الآخرون على أنه حقيقة بدون الحاجة إلى مزيد من التعليل. وللبرهان على نظرية هندسية على سبيل المثال، يبدأ المرء ببديهيات الهندسة المقبولة [٣٨] على أنها صادقة بداهة ثم تستخدم بعد ذلك محاكمة عقلية تتدرج خطوة فخطوة لاستنتاج النظرية. وبالالتزام بالاستعارة السلحفاتية تمثل بديهيات الهندسة **سلحفاة فائقة حاملة** تقف وتدعم نفسها بدون الحاجة لدعم إضافي (انظر الشكل ٣٠). وتطبق هذه الحجة العامة نفسها على البحث عن تفسير نهائي للوجود المادي.

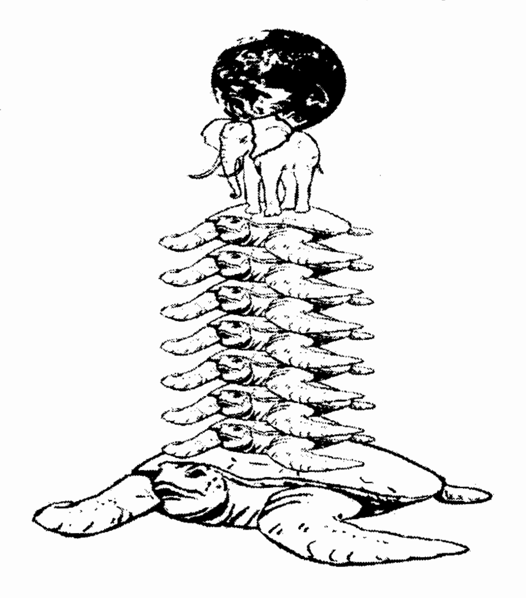


الشكل ٢٩ سلاحف على طول الطريق نحو الأسفل

يصف هذا المثال الفكاهي سلسلة لا متناهية، حيث يفسرعالم الخبرة الفيزيائية بحقيقة أعمق والتي تفسر بدورها بحقيقة أعمق.... وهكذا.

المشكلة هي أن سلحفاة فائقة لشخص ما هي مبعث تهكم شخص آخر. إن العلماء الذين يلتمسون نظرية كل شيء بدون متحولات حرة سعداء بقبول علاقات تلك النظرية (على سبيل المثال نظرية M) على أنها **سلحفاتهم الفائقة** الحاملة. تلك هي

نقطة البداية بالنسبة لهم. ويجب قبول العلاقات على أنها «**معطاة**» وأن تستخدم كأساس لا تفسير له يؤسس عليه وصف الوجود المادي كله. ويقبل مريدو الكون المتعدد (ربما عدا تيغمارك) بحزمة من العجائب بما في ذلك آلية لتوليد الأكوان والميكانيك الكمومي والنسبية ومجموعة أخرى من المتطلبات التقنية المسبقة على أنها **سلحفاتهم الفائقة**. ويعطي علماء اللاهوت في الديانات التوحيدية هذا الدور **لإله موجود بالضرورة**. ويصف كل من الفرقاء الثلاثة سلحفاة الآخرين الفائقة بالأوصاف السلبية ذاتها. ولكن لا يوجد حل منطقي لهذا الجدال لأنه لا بد في نهاية المطاف من الإيمان بسلحفاة فائقة أو بأخرى. (أو على الأقل أن تقبل احتياطاً كفرضية عاملة) وحتماً سيعكس قرار اعتناق أي منها **التحيزالثقافي المسبق** لمعتنقيها[٣٩]. **لا يمكنك استخدام العلم للبرهان على عدم وجود إله في ما وراء الطبيعة** ولا يمكنك استخدام الدين للبرهان على عدم وجود قوانين فيزيائية مدعومة ذاتياً.



الشكل ٣٠ السلحفاة الفائقة

لتجنب سلسلة لا متناهية (البرج الذي لاقاع له من السلاحف في الشكل ٢٩)، يمكن للمرء أن يفكر بسلحفاة فائقة حاملة، تفسر نفسها بنفسها، وتدعم نفسها بنفسها. ويدعوها علماء اللاهوت ب «كائن بالضرورة» وقد حاول بعضهم أن يبرهن أن كائناً كهذا موجود. لقد حاجج بعض العلماء بضرورة وجود نظرية فائقة موحدة.

كثير من الناس يعتقدون أن الكون عبثي

يمكن إرجاع جذر مشكلة السلحفاة إلى الطبيعة التقليدية للحجة المنطقية. يقوم المشروع العلمي بكامله على افتراض وجود أسباب لكون الأشياء على ما هي عليه. إن التفسير العلمي لظاهرة ما هو مناقشة عقلانية تربط الظاهرة بشيء أعمق وأبسط. وقد يرتبط ذلك بدوره بشيء أكثر عمقاً... وهكذا. وعلى سبيل المثال فإن تغيّر القمر من هلال إلى بدر والعكس يفسر بحركة الأجسام في النظام الشمسي التي تفسر بقوانين نيوتن والتي تندرج في نظرية النسبية العامة لآينشتاين والتي (كما يؤمل) أن تنتج يوماً ما من نظرية في الثقالة الكمومية كما في نظرية الأوتار. وباتباع سلسلة التفسيرات رجوعاً (أو السلاحف هبوطاً) نرى أن هناك بالفعل أسباباً منطقية لتغير شكل القمر ولكن عندما نصل إلى النظرية النهائية المفترضة – السلحفاة الأسمى – ماذا بعد؟ يمكن للمرء أن يسأل: لماذا تلك النظرية الموحدة بدلاً من نظرية أخرى؟ لماذا هناك نظرية موحدة تسمح بوجود قمر؟ لماذا هناك نظرية موحدة تسمح بوجود كائنات عاقلة يمكنها ملاحظة القمر؟ إن أحد الأجوبة التي يمكن أن تحصل عليها هي أنه **لا يوجد** سبب: يجب معالجة النظرية الموحدة ببساطة على أنها «**النظرية الصحيحة**»[٤٠] واستبعاد اتساقها بالنسبة لوجود قمر أو مراقبين أحياء على أنه صدفة لا قيمة لها. وإذا كان الأمر كذلك فإن النظرية الموحدة – أساس الحقيقة الفيزيائية – نفسها توجد بدون أي سبب على الإطلاق. إن أي شيء يوجد بدون سبب هو بالتعريف **عبثي**. لذا فنحن مدعوون لقبول أن البنية السائدة للعقلانية العلمية – بالفعل النظام الرياضي نفسه للكون – متجذرة في نهاية المطاف في العبثية! وليس هناك سبب على الإطلاق لقوة الرفع العجيبة للسلحفاة العلمية الفائقة.

ويأتي رد مختلف على مثل هذه الأسئلة من نظرية الكون المتعدد. فنقطة بدايتها ليست مجموعة اعتباطية وحيدة من القوانين الموحدة مع صداقة للحياة غير مفسرة وبالصدفة ولكن مجموعة واسعة من القوانين حيث يؤخذ عامل الحياة بالاعتبار عن طريق انتقاء الملاحظ. ولكن ما لم يختر المرء

مبالغة تيغمارك «أي شيء يصلح» فلا يزال هناك سلحفاة أسمى غير مفسرة على هيئة نوع خاص من الكون المتعدد مبني على آلية معينة من توليد الأكوان والأدوات الأخرى كلها. ولذا يحتفظ الكون المتعدد بعنصرمن الاعتباطية والعبث. وتحمل سلحفاته الفائقة السلاحف الأخرى بدون سبب ولذا فالنظرية هي في نهاية الأمر عبثية أيضاً.

إن اللاهوتيين الموحدين الذين يقوم الإله بالنسبة لهم بدور السلحفاة الفائقة لم يعودوا بحاجة للتفكير في المشكلة. فهم يعتقدون أو على الأقل بعضهم، بأن خطر العبثية النهائية ينقض بالقول بأن ***الله كائن بالضرورة***. وكما شرحت مسبقاً في هذا الفصل فهذه محاولة (ليست ناجحة) لوصف آلية الحمل الذاتي – الإله يشرح وجوده ذاته – والتي بدونها سنعود إلى الاعتباطية واللاعقلانية والعبثية. ومهما كانت فكرة الكائن اللازم مشكوكاً فيها فقد حاول علماء اللاهوت بجد على الأقل تفسير كيف تحمل سلحفاتهم الفائقة ذاتها بدلاً من الإدعاء بأن ذلك يحدث بدون سبب.

التفسير النهائي للكون

يجب أن يكون بسيطاً

ربما بدا أن كلاً من المواقف الثلاثة التي ناقشتها مهدد بأن يكون عبثياً في النهاية، ويتطلب منا قبول نقطة بداية مبنية على **الإيمان**: مجموعة من القوانين الرياضية أو كون متعدد بقوانين فرعية أو إله. كيف لنا أن نقرر بين هذه الثلاثة؟ عند هذه النقطة نلجأ لحجة «**البساطة**». استخدم مارتن غاردنر Martin Gardner حجة البساطة ليدافع عن وجود إله بدل كون متعدد: «بالتأكيد فإن الحدس بوجود كون واحد وخالقه أبسط وأسهل للاعتقاد بما لا يقارن من وجود بلايين البلايين من العوالم التي لا تعد»[٤١]. وحاجج اللاهوتي ريتشارد سوينبيرن Richard Swinburn أيضاً بأن إلهاً عاقلاً لا نهائياً يشكل نقطة بداية أبسط من كون متعدد غير مفسرأو كون وحيد منظم ولذا فهو يشكل نقطة بداية مفضلة في سلسلة التعليل المنطقي[٤٢]. ومع ذلك فقد استخدم

ريتشارد داوكنز Richard Dawkins معيار البساطة ليدلل على النقيض تماماً معلناً أنه «لا يمكنك أن تحصل على شيء أكثر تعقيداً من الرب تعالى!» [٤٣] ويبدو أن لدى داوكنز نقطة محقة هنا: فعقل لا متناه (أي الإله الواحد التقليدي) يبدو معقداً بشكل لا متناه وليس بسيطاً على الإطلاق. لكن الانتقاد نفسه يمكن أن يوجه لكون متعدد لا نهائي يحتاج لكمية لا متناهية من المعلومات غير المثبتة لتحديده[٤٤]. وإذا انتهى الأمر للاختيار بين إله لا نهائي ولا مرئي وبين مجموعة لا متناهية من الأكوان غير المرئية فأي التفسيرين هو الأبسط؟ يبدو أن الإله المعروف في الديانات التوحيدية وفي النموذج القياسي من الكون المتعدد معقدان بالمقدار نفسه من هذه الناحية. إن الرابح في هذه المنافسة الثلاثية بحسب معيار «**الأبسط**» سيكون نظرية الكون الوحيد بدون متحولات حرة – إذا وجدت مثل هذه النظرية وإذا (وهي، إذا ضخمة حقاً) ظهر أنها الوصف **البسيط** والأنيق المأمول وليست مزيجاً غير مقدس من الرياضيات المعقدة.

يجب أن يكون واضحاً من هذا الفصل، أن المحاولات الثلاث كلها لتفسير الكون بكامله – اثنتان علميتان والثالثة لاهوتية – تصطدم في النهاية بحائط و تتطلب قبول شيء مهم حقاً **بالإيمان فقط**. ولذا فهل هذا أقصى ما يمكن أن نذهب إليه؟ هل وصلنا إلى الحدود القصوى للتفكير بدون أي جواب منظور؟ لا أعتقد ذلك. لقد بدأت في هذا الكتاب لمعالجة السؤال لماذا كان الكون صديقاً للحياة. وأود الآن أن أتعمّق في الجزء «الحيوي» منه. وفي النقاش حتى الآن وضعت الحياة والمراقبين في دور محايد تماماً. وفي الكون المتعدد على سبيل المثال، يوجد هؤلاء في أكوان دون أخرى ولذا (بدون فعل أي شيء سوى ما يفعلونه عادة – أي العيش والمراقبة) فهم كما يدعى يفسرون صداقة الكون للحياة. وطالما عومل العقل والحياة بهذه الطريقة، على أنهما ببساطة نتاج ثانوي للطبيعة فإن سر الوجود سيبقى كذلك للأبد – سراً. ولكن هناك طريق آخر يمكننا استكشافه وهو طريق لا يكون فيه العقل والحياة مجرد أشياء تنقل بل إنهما يلعبان دوراً فعّالاً في تفسير الوجود.

النقاط الرئيسة :

يحتوي هذا الفصل أفكاراً **شخصية للمؤلف** أكثر من الفصول السابقة

- يبدو الكون من بعض النواحي- مثل قابليته الغريبة للحياة – مصمماً. ويقترح بعض الناس أنه كذلك. لكن اللجوء إلى مصمم من ما وراء الطبيعة يثير كثيراً من القضايا الفلسفية حول طبيعة المصمم وأصله وفرادته وضرورته وعلاقته بالزمان.
- من المهم التمييز بين تصميم في قوانين الفيزياء وتصميم في مواد أو أنظمة مثل الكائنات الحية. تمتلك ظاهرة التصميم في الكائنات الحية تفسيراً قابلاً للاختبار علمياً، مبنياً على نظرية التطور لداروين.
- يمكن تفسير ظاهرة التصميم في القوانين بافتراض كون متعدد مع انتقاء «أنثروبي – إنساني». ولكن الكون المتعدد ليس التفسير الكامل للوجود لأنه لا زال بحاجة إلى **بعض** القوانين الفيزيائية غير المفسرة.
- يعلق بعض العلماء آمالهم على «نظرية كل شيء» كاملة ستفسر الكون بدون استدعاء تأثير اختيارالمراقب. لو كان مثل هذه النظرية صحيحاً فستكون صداقة الكون للحياة مصادفة سعيدة. ولكن وجود نظرية نهائية فريدة أمر مشكوك فيه.
- ما لم يوجد كل شيء يمكن له أن يوجد فإن شيئاً لا زال غير مفسر لا بد أن يفصل بين ما يوجد وما لا يوجد.
- لتجنب سلسلة لا متناهية (برج من السلاحف) يجب القبول بشيء ما حتى في التوصيفات العلمية على أنه **إيماني** ولكن هذا الشيء يجب أن يكون **أبسط** ما يمكن.
- لم ينته الموضوع بعد !

الفصل العاشر

كيف حصل الوجود؟

هل كتبت الحياة في قوانين الكون؟

لخّص ستيفان هاوكنغ منذ سنوات قليلة الميل السائد للعلماء حول مكانة الحياة في الكون. وعبر عن ذلك بالقول «الجنس البشري ليس أكثر من غثاء كيميائي فوق كوكب متوسط الحجم»[1]. ويردد معظم الفيزيائيين وعلماء الكون مقولة هاوكنغ ويعتبرون الحياة زخرفاً تافهاً وعارضاً بالنسبة للعالم الفيزيائي، وليست لها أهمية خاصة بالنسبة للمخطط الكوني الشامل للأشياء. ولكن هناك دوماً أقلية معارضة تعتبر أن الحياة ليست مجرد منتج ثانوي عرضي للطبيعة وإنما هي جزء هام جداً من قصة الكون.

يبدو أن المبدأ الإنساني يرفع الحياة والعقل إلى مكان خاص في الطبيعة. ولكنه على الشكل الذي كنت أناقشه حتى الآن – كآلية انتقاء محايدة في كون متعدد – فهو ليس أكثر من إجراء إحصائي ضروري يشار إليه عادة **بالمبدأ الإنساني الضعيف**. وعندما أدخل براندون كارتر Brandon Carter هذا المصطلح منذ ثلاثين عاماً استكشف أيضاً **فكرة المبدأ الإنساني القوي**[2]. وقد فصل هذا المبدأ فيما بعد من قبل جون بارو John Barrow وفرانك تيبلر Frank Tipler[3]. وبشكل تقريبي تؤكد النسخة الأقوى للمبدأ على أن الكون **يجب** أن يؤدي إلى ظهور المراقبين فيه في مرحلة ما من مراحل تطوره.

وبعبارات أخرى قدّر لقوانين الفيزياء وتطور الكون بطريقة غير محددة أن تنشئ الحياة والعقل. ولا يحظر المبدأ الإنساني القوي وجود أكوان متعددة لكنه يشترط أن أكواناً بدون حياة ومراقبين غير موجودة. وبهذه الطريقة فإن الحياة بصورة عامة والكائنات الواعية بصورة خاصة تعالج على أنها آلية انتقاء فعّالة.

روّجت الفكرة الأساسية نفسها بشكل صريح أو ضمني من قبل عدد من العلماء البارزين. وعلى سبيل المثال ذكر فريمان دايسون Freeman Dyson أنه «بينما نتطلع إلى الكون ونميز الصدف العديدة في الفيزياء والفلك التي عملت مع بعضها بعضاً لمصلحتنا، يبدو كما لو أن الكون عرف بمعنى ما أننا سنجيء»[٤]. وبالطريقة نفسها يقول عالم الأحياء سايمون كونوي موريس Simon Conway Morris من جامعة كامبردج «هناك إذا شئت مزروع في نشأة الكون نفسه حتمية الوعي»[٥].

يلقى المبدأ الإنساني القوي بعض الدعم من الاعتقاد الشائع بأن ظهور الحياة محتم نوعاً ما لأنها «**مبنية ضمن**» قوانين الكون. ويصف عالم الأحياء كريستيان دو دوف Christian De Duve الحائز على جائزة نوبل الكون على أنه «حبلى بالحياة» ويدعو الحياة «ضرورة كونية»[٦]. ويردد الفيزيائي الحيوي ستيوارت كاوفمان Stuar Kauffman قول فريمان دايسون بالإعلان أننا «**داخل منزلنا في الكون**»[٧]. ووراء البرنامج الفلكي- الحيوي الطموح الممول من وكالة ناسا والمؤسسات الأخرى ومشروع SETI للبحث عن دليل على وجود ذكاء في الكواكب البعيدة يقع الافتراض بأن الحياة ليست صدفة محصورة بكوكب الأرض ولكنها نتيجة منتشرة ومحتمة لقوانين الفيزياء المنحازة ذاتياً لمصلحة علم الحياة. وبعبارات أخرى فالحياة ليست ناتجاً ثانوياً بالصدفة ولكنها جزء أساسي من أعمال الكون. إن لمثل هذه الفكرة جاذبية واسعة، ولكن هل هي موثوقة؟

أخذ الحياة بجد

يستخدم العلماء الكلمة *أساسي* لوصف شيء يذهب إلى قلب الطبيعة ويعتمد عليه بشكل حرج فهمنا الأوسع للكون المادي. وعلى سبيل المثال تدعى الإلكترونات والكواركات جسيمات *أساسية* لأنها تلعب دوراً أساسياً في شرح طبيعة المادة دون اللجوء إلى مستوى أعمق من البنية. وبالمثل فقوة الثقالة *أساسية* لأنها تفيد في تشكيل بنية الكون. والزمان والمكان أساسيان لأسباب يندر وجوب التصريح بها. وقد لا تصف هذه الأمثلة الوحدات الأكثر أساسية في الطبيعة ولكنها بالتأكيد أساسية أكثر من غيوم المطر أو الصخور أو الصمغ على سبيل المثال. ويمكننا وصف هذه الأشياء السابقة على أنها مجرد خصائص عرضية للعالم حيث تأتي خصائصها من الوحدات الأكثر أساسية منها على الرغم من أنها قد تكون هامة في الحياة اليومية (هل ستمطر، هل سيأتي ظرف البريد بدون أن يكون ملصقاً.....) إلا أن منحها أهمية كونية سيكون أمراً شاذاً. ولا يمكن وصف خاصة أساسية حقاً بشيء أعمق أو أبسط أو أكثر أساسية منها. وبالطبع تختلف الآراء حول ما هو أساسي فعلاً أو لا. اعتاد الفيزيائيون على التفكير بأن الإلكترونات أساسية حقاً، لكن العديد منهم اليوم يصنّفون الأوتار في ذلك الدور الأعمق، معتبرين الإلكترونات مجرد مظهر من مظاهر نشاط الوتر. إن السؤال الذي يواجهنا هو فيما إذا كان مشروعاً لنا اعتبار الكائنات الحية بمعنى ما أساسية – وبالتالي مهمة – أو أنها عرضية وناتج ثانوي غير مهم في اللعبة الرئيسية.

ومنذ مائتي عام كان معظم العلماء قانعين بمعاملة الحياة كظاهرة أساسية، لأنهم اعتقدوا أن نوعاً من قوة حياة أو من جوهر ضروري كان مسؤولاً عن الخصائص المميزة التي تظهرها الكائنات الحية. وكان من المفترض عدم تفسير« مادة الحياة» هذه بأي شيء أعمق ولكنها تقبل على أنها خاصة أولية معطاة من خصائص الأحياء. ونعرف اليوم أنه لا توجد قوة حياة. فالكائنات الحية عبارة عن آلات تشتق خصائصها الفائقة من تعقيدها الكبير.

إن ما يجعل الحياة مميزة ليست المادة التي صنعت منها ولكن الأشياء التي تفعلها. إن تعريف الحياة أمر صعب جداً ولكن يمكن تمييز ثلاث خصائص. **الأولى** أن الكائنات الحية تظهر نتيجة **للتطور الدارويني**، وفي الحقيقة يعرّف بعض العلماء الحياة حسب هذا المعيار فقط. لا شك أن مبدأ التطور عن طريق التناسل مع التنوع والانتقاء أساسي. ويجب أن يطبّق على الحياة في كل مكان في الكون وحتى على أشكال الحياة التي تختلف كثيراً عن أشكال الحياة على الأرض. وعلى الرغم من أن قانون التطور لداروين ليس قانوناً فيزيائياً إلا أنه مبدأ تنظيمي بعمق قانون الثقالة وبأهميته. ولذا فالحياة ناتج لهذه الخاصية الأساسية جداً للكون.

الخاصة الأساسية **الثانية هي الاستقلال الذاتي**. فالكائنات الحية لها حرفياً حياة مستقلة خاصة بها. وعلى الرغم من أن الكائنات الدقيقة خاضعة للقوى الفيزيائية نفسها مثل النظم المادية الأخرى كلها إلا أنها قادرة على **تسخير** هذه القوى لحمل رسالة ما. ويكفي تقديم مثال بسيط لتوضيح هذه الفكرة. إذا ألقيت طائراً ميتاً في الهواء فإنه سيتّبع مساراً هندسياً بسيطاً ويهبط في مكان متوقع. ولكنك لو رميت طائراً حياً في الهواء فمن المستحيل أن تعرف كيف سيتحرك، أو أين سيهبط. ومن المهم أن عدم التنبؤ المرتبط بالكائن الحي مختلف جداً عن التصرف العشوائي أو الفوضوي كرمي النرد أو مصير دوارات المياه في جدول. فمسار الطائر يتأثر جزئياً بحالاته الجينية والعصبية.

الصفة الأساسية **الثالثة** بالنسبة للنظم الحية هي كيفية **تعاملها مع المعلومات**. يمكن النظر إلى النظم الفيزيائية كلها على أنها تعالج المعلومات بشكل أولي. فمثلاً يتطلب موقع كوكب في الفضاء بعض الأرقام لتحديده. ومع دوران الكوكب حول الشمس يتغير موقعه وتتغير الأرقام أيضاً. ولذا تحوّل عملية حركة الكواكب البسيطة «المعلومة الداخلة» (الموقع الأولي للكوكب) إلى «معلومة خارجة» (الموقع النهائي للكوكب). لكن المعلومة الموجودة في جين أو عقل هي أكثر من مجرد معلومة من ذلك النوع: فالجين

مخطط أو الغوريثم، أو مجموعة من التعليمات لتنفيذ مشروع ما كتصنيع بروتين أو نسخ جزيء. وحتى يعمل الألغوريثم بنجاح، يجب أن يكون هناك نظام فيزيائي (في حالة الجينوم يمكن أن يكون ريبوسوم ribosome) يمكنه تفسير التعليمات الجينية وتنفيذها. إن تلك التعليمات «تعني شيئاً» بالنسبة للنظام الذي «يعمل» بعدها على أساسها. ويشير الفلاسفة وعلماء الحاسوب إلى معلومات ذات معنى (كمقابل للأحرف الخام) في علم الدلالة. ولذا فهناك **علم دلالة** أو بعد قريني للمعلومات الحيوية: فالمعلومة الجينية ليست مجرد سلسلة من الأحرف الاعتباطية ولكنها نوع من برنامج حاسوبي منسجم يتضمن شيفرة هدف حدد مسبقاً مكتوبة بالأحرف الهجائية الأربعة للدنا. وعندما يتعلق الموضوع بالوعي كمقابل للنشاط الكيمياحيوي البحت تصبح الطبيعة الدلالية للمعالجة العصبية للمعلومات واضحة. لا شك أن العقل يعالج معلومات ذات معنى: وهذا من قريب أو بعيد ما تفعله العقول.

ويأخذ الفيزيائي ديفيد دويتش David Deutsch المعروف بعمله الرائد على الحوسبة الكمومية البعد الحاسوبي للحياة إلى أبعد من مجرد المقارنة. وهو يشير إلى أن الجينوم يحتوي تمثيلاً داخلياً للعالم – نوعاً من الواقع الافتراضي – مبنياً عبر أيونات السنين من التطور متضمناً المعلومات القرينية الضرورية للكائن العضوي المرافق ليتلاءم جيداً مع مكانه في البيئة. وبعبارات أخرى فالجينوم «**يعلم حول**» بيئته. ويكتب قائلاً نقترب الآن من تفسير سبب كون **الحياة** أساسية. فالحياة هي حول التجسيد الفيزيائي للمعرفة. وهي تقول بأنه من الممكن احتواء قوانين الفيزياء كما تنطبق على كل بيئة ممكنة فيزيائياً ببرامج لمولد واقع افتراضي. والجينات هي من نوع هذه البرامج[٨]. إن قدرة الأنظمة الفيزيائية مثل الكائنات الحية والعقول والحواسب على بناء تمثيل حاسوبي للكون – لمحاكاته – ليست خاصة تافهة من خصائص العالم المادي. إنها تعتمد على ما يدعى **بمبدأ تورنغ** (نسبة إلى ألان تورنغ المشترك في اختراع الحاسوب). ويعرف دويتش مبدأ تورنغ الذي يعتبره بمستوى قوانين الفيزياء بين أكثر الخصائص أساسية للعالم الفيزيائي

بمايلي: من الممكن بناء حاسوب كوني: وهو آلة يمكن برمجتها لتؤدي أية عملية حاسوبية يمكن لأي جسم فيزيائي آخر أن يقوم بها[٩]. وعلى الرغم من أن العديد من الناس يقرّون هذا المبدأ بشكل بديهي في عصر الحاسوب إلا أنه حقيقة يمثل خاصة عميقة جداً من خصائص العالم ويعتمد على أنواع الأنظمة المادية الموجودة في الطبيعة والطريقة التي تتصرف بها.

وبالاستمداد يضع دويتش **المعرفة** جنباً إلى جنب مع أشياء مثل الكتلة والشحنة الكهربائية على أنها مقدار فيزيائي أساسي ويقدّم حجة طريفة لتبرير هذا الادعاء. تخيّل حضارة مستقبلية على الأرض تمتلك التقنية لتعديل ليس فقط الكوكب (كما فعلنا حتى الآن بكوكبنا خيراً أم شراً) ولكن النظام الشمسي بكامله بما في ذلك الشمس نفسها. ربما تود هذه الحضارة أن تستخدم معرفتها بفيزياء الفلك لتطيل عمر الشمس عن طريق تغيير تركيبها بطريقة أو أخرى. الآن إن تطور النجوم مثل الشمس مفهوم جيداً مسبقاً ويمكن تحديد مواصفات شمس تشيخ بدقة بتطبيق القوانين القياسية لفيزياء البلازما والفيزياء النووية. إن أي مراقب أجنبي على الجانب البعيد من المجرة نمذج تصرف شمسنا بهذه الطريقة سيفشل في إيجاد اتفاق مع الملاحظة لأن الشمس ستكون قد عدّلت بواسطة المعرفة العلمية للحضارة الأرضية. وفي هذه الحالة فإن **للمعرفة** تأثيراً قوياً بما يكفي لتنافس العمليات القياسية في فيزياء الفلك كتدفق الحرارة من نواة نجم مثلاً. وبالطبع لا تزال الهندسة الكونية موضوعاً للخيال العلمي. ولكن ليس هناك سبب من حيث المبدأ يمنع الحياة والعقل على مدى أيونات السنين من تحويل بنية الكون نفسه بمقدار كبير. (سأعود إلى هذا الموضوع لاحقاً في هذا الفصل). وعلى أية حال يذكّرنا دويتش بأن **الحجم** ليس كل شيء. فظاهرة مثل **التداخل الكمومي** (انظر الصندوق ٨) أساسية تماماً من حيث خصائصها ولكنها مع ذلك مخفية جداً في الظروف كلها تقريباً[١٠].

وقد يعترض النقاد بأن المعرفة مبدأ بشري ليس له مكان في العالم الفيزيائي وعلى الأخص في علم الكون. هل من الممكن أن يعزو المرء «**المعرفة**» إلى جين مثلاً؟ أليس هذا الجين مجرد جزيء أصم؟ من الصحيح أن مقاطع من جزيء مثل الدنا لا تأتي بلصاقة كتب عليها «أمتلك معرفة». ولإيضاح هذه النقطة خذ قاعدة بيانات الحياة الموجودة ضمن سلسلة النيوكليتيدات أو رسائل في الدنا. تأتي هذه بأشكال أربعة مختلفة يشار إليها ب A و T و C و G. وعندما يحلل العلماء جيناً ليقرروا سلسلة النيوكليدات تمثّل النتيجة على شكل سلسلة طويلة من هذه الحروف التي يمكن أن تقرأ جزئياً مثل AAGCCGTTAGAC. إن الوظيفة الأولى للجينات هي أن تشفّر لعملية تصنيع البروتينات. إن معظم الدنا في الكائنات المعقدة مثل البشر هي في الحقيقة «غير مشفرة» – ليست جينات معلوماتية ويشار إليها غالباً على أنها «دنا نفايات»[١١]. ومع ذلك فإن تسلسل الأحرف نفسه AAGCCGTTAGAC مثلاً قد يحدث في جين وفي نفاية أيضاً ولا تستطيع أن تعرف بمجرد النظر إلى السلسلة بحد ذاتها فيما إذا كانت «تمتلك معرفة» (أي أنها تنتمي إلى جين) أو لا (أي أنها تنتمي إلى نفاية). فهذه الأنواع من الجزيئات متطابقة ***فيزيائياً***. فقط في سياق الكائن العضوي الكلي وبيئته يكون لمصطلح المعرفة معنى.

المشكلة هي أن «السياق الكلي» يبدو مفهوماً ذاتياً مخادعاً جداً. لكن دويتش يعتقد أن لديه طريقة لتعريفه بحيث يعطيه أهمية موضوعية. وهو يشير إلى أنه بينما يمكن للتغييرات في التشفير أو الجزء الجيني من الدنا أن تكون كارثية بإحداث طفرة تقلل من نجاح تأقلم العضوية، إلا أنه يبدو أنه لا يوجد لمعظم التغييرات في جزء النفايات من الدنا عواقب خطيرة. ولذا يعمل الانتقاء التلقائي بحيث يحافظ على التسلسل الجيني في الدنا على مدى عدة أجيال ولكنه يسمح عادة لسلاسل النفايات أن تنحرف عشوائياً من جيل إلى آخر. قد يحدث تشوه – أي تغير في تسلسل

الأحرف – نتيجة عبور جسيم تحت ذري كشعاع كوني مثلاً جزيء الدنا ويخربه، محدثاً إعادة ترتيب للأحرف حيث يمكن لتغيير موقع حرف واحد فقط في السلسلة أن يسبب عواقب خطيرة للكائن العضوي ولأحفاده. مثل هذا الحادث حساس جداً للمسار الدقيق للجسيم ويخبرنا عدم اليقين الكمومي أن هناك احتمالاً بأن يفشل الجسيم في إعادة ترتيب الأحرف أو أن يقوم بإعادة ترتيب مختلفة. ويدعونا دويتش لاعتبار هذا السيناريو في سياق الكون المتعدد الكمومي – تفسير أكوان متعددة للميكانيك الكمومي (انظر الصندوق ٨). لو استطعنا أن نرقب كل الحقائق الكمومية المتوازية في الوقت نفسه (وهو مستحيل بالنسبة للبشر ولكن خذه كتمرين عقلي) فسنلاحظ عندئذ أن سلسلة الدنا لكائن عضوي ما (كلب على سبيل المثال) في تلك العوالم المتوازية قد اختلفت. ويعود ذلك إلى أن العوالم الكمومية المختلفة لها تواريخ مختلفة بما في ذلك تواريخ التطور للكائن العضوي المذكور – تواريخ قد تعتمد بصورة حرجة على تأثيرات الأشعة الكونية وعلى مجريات ذرية أخرى تخضع لعدم التأكد الكمومي. وبتمعن أدق سنجد أثناء مسحنا للعوالم المتوازية العديدة أن التغيرات في سلاسل الدنا مركّزة بشكل كبير في جزء النفايات من الدنا بينما ستكون الأجزاء المشفرة أو الجينية نفسها تقريباً من عالم كمومي إلى آخر، حيث حفظت بالانتقاء الطبيعي في التواريخ السابقة المختلفة. ويقدم دويتش الحجة بأنه بتمديد نظرتنا للعالم لتشمل الكون المتعدد الكمومي فسندرك فارقاً حقيقياً وفيزيائياً بين السلاسل الجينية التي تمتلك «المعرفة» وسلاسل النفايات. وبهذه الطريقة قد تعطى «المعرفة» أساساً فيزيائياً رئيساً وموضوعياً.

إن النقطة الرئيسة في هذه الحجج المختلفة هي أن الكائنات الحية مميزة جداً بطرق هامة عديدة، لتكون «مجرد نوع آخر من النظام الفيزيائي» تضاف

إلى غيوم المطر والصخور والصمغ في مخزون التحف الكبير للطبيعة. وبالنظر كونياً فإن تاريخ الكون هو بروز ظاهرة أساسية جديدة عند مستويات ومراحل متتالية من درجة الحرارة والطاقة والتعقيد. وعلى سبيل المثال عند حوالي ١ مكرو ثانية تجمعت الكواركات والغلوانات لتشكل البروتونات والنيوترونات. وعند ٣٨٠٠٠٠ سنة، اتحدت الإلكترونات والجسيمات النووية لتشكل الذرات. وبعد بضع مئات الملايين من السنين تشكلت المجرات والنجوم. وفي زمن لاحق ظهرت الحياة ومن ثم العقل ومن ثم الثقافة. ولا أحد ينكر أن الذرات والنجوم والمجرات خصائص أساسية للكون. ويبدو من الواضح أن الحياة (وأيضاً كما سأناقش فيما سيأتي العقل والثقافة أيضاً) هي خطوة لها الأهمية ذاتها على درب التطور الكوني.

الصندوق ٨ الكون المتعدد الكمومي

تاريخياً لم تكن نظرية الكون المتعدد الأولى فكرة كونية على الإطلاق ولكنها كانت تفسيراً للميكانيك الكمومي. وتوحي الغرابة الكمومية أن جسيماً مثل الإلكترون يمتلك عدم تأكد ذاتي يحسب بمبدأ عدم التأكد لهايزنبرغ. وعلى سبيل المثال عندما يرتدّ إلكترون من هدف لا نستطيع أن نعرف مقدماً فيما إذا كان سينحرف نحو اليمين أم نحو اليسار. إن الميكانيك الكمومي يعطّي الاحتمالات النسبية للاتجاهين ولكنه لا يستطيع أن يتنبأ أياً منهما سيحدث فعلاً في أية حالة. ومع ذلك فلن نجد صعوبة بعد الحادث في معرفة الاتجاه الذي انحرف فيه الإلكترون – فنحن ببساطة نقوم بملاحظة مباشرة لمساره. إن أحد الطرق للتفكير بهذه الحادثة هو أن نقول بأنه قبل أن يرتطم الإلكترون بالهدف كان هناك عالم واحد بمستقبلين: أحدهما بإلكترون يتجه نحو اليسار وآخر بإلكترون يتجه نحو اليمين. وبعد الارتطام كان على الطبيعة أن تقرر – يسار أم يمين.

في التفسير الأصلي للنظرية الكمومية التي طورت في كوبنهاغن في الثلاثينات بتأثير نيلز بورNiels Bohr، عزي الانتقال من عوالم غير مؤكدة

غامضة إلى حقيقة وحيدة صلبة إلى تدخل القائم بالتجربة. وبحسب تفسير كوبنهاغن فإن فعل الملاحظة نفسه كان الخطوة الأساسية في إرغام الطبيعة على أن «تقرر» (يمين أم يسار). لقد رأى بعض الفيزيائيين في هذا على أنه دليل على لعب الوعي دوراً مباشراً في العالم المادي على المستوى الكمومي. لكن معظم الفيزيائيين رفضوا هذا الرأي. وعلى الرغم من عدم وجود الوعي فإن أحد التفسيرات الحالية السائدة للميكانيك الكمومي هو قبول النظرية كوصف كامل للحقيقة بما في ذلك المراقبين. (ومن حيث المبدأ يمكن تطبيق النظرية على الكون بكامله).

وإذا قبلنا وجهة النظر هذه يمكننا تفسير التجربة البسيطة التي ذكرناها سابقاً لتعني أن العالمين البديلين **كلاهما** حقيقيان بالدرجة نفسها، ولذا فعندما يصطدم الإلكترون بالهدف ينقسم الكون إلى نسختين: واحدة بإلكترون يتجه نحو اليسار وأخرى بإلكترون يتجه نحو اليمين. والطريقة الأفضل للتفكير بهذا هي أنه قبل الارتطام، هناك نسختان متطابقتان للكون يفترقان عند ارتطام الإلكترون بالهدف. وسينقسم أي مراقبين يراقبون المشهد إلى نسختين أيضاً إحداهما ترى الإلكترون يذهب في اتجاه معين والأخرى ترى الإلكترون يذهب في الاتجاه الآخر. ويمكن خداع أي من المراقبين للاعتقاد بأن عالمه هو العالم «الحقيقي» وأن الآخر عالم منافس لم يتحقق. ولكن في الحقيقة تتعايش الحقائق الكمومية الممكنة كلها بالتوازي. أصبحت هذه المجموعة من الأفكار تعرف بتفسير «الأكوان المتوازية» أو «الأكوان المتعددة» للميكانيك الكمومي. وبصورة عامة تخلق الأنشطة تحت الذرية ليس عالمين متوازيين فقط وإنما عدداً لا يحصى منها. وهي عملية مستمرة طيلة الوقت.

وعلى الرغم من طبيعتها المعقدة جداً، فإن تفسير العوالم المتعددة للميكانيك الكمومي هو الأكثر شعبية لدى معظم الفيزيائيين الذين يشتغلون على مواضيع أساسية مثل نظرية الأوتار/M. وهي التفسير المفضل أيضاً عندما يطبق الميكانيك الكمومي على علم الكون.

أخذ العقل بجد

عندما يتعلق الأمر بمجال العقل فإن الصفات المميزة أكثر تميزاً وأشد اختلافاً من أي شيء آخر في الطبيعة. إننا الآن نتعامل مع الأفكار والأهداف والأحاسيس والاعتقادات – العالم الداخلي والمنفعل للمراقب الذي يختبر الحقيقة الخارجية من خلال الحواس. ومن الواضح أن هذه المكوّنات العقلية ليست مجرد «أنواع أخرى من الأشياء» – فهي من سوية مختلفة تماماً. إنها ليست على المستوى نفسه من الوصف كالأشياء المادية ولا تربطها علاقة واضحة بأي منها. افتح دماغاً ولن ترى أفكاراً ومشاعر بل سترى فقط ترتيبات معقدة من المادة. من الممكن بالتأكيد تحديد العلاقات بين الحالات العصبية والحالات العقلية (ما أصبح الفلاسفة يدعونه بال «المسألة السهلة»، على الرغم من أنه أبعد عن أن يكون سهلاً) ولكن هذا لم يلمس المشكلة وهي كيف تختلف الخبرة الذاتية لحمرة الأحمر عن زرقة الأزرق أو مذاق الملح أو ملمس الفراء. لقد وصف تفسير هذه الصفات بأنه جزء من «المسألة الصعبة»[١٢] لأنه مفصول منطقياً وعلمياً عن عالم الأشياء والقوى المادية. إما أن تكون هذه الصفات وهمية وبالتالي يمكن تحديدها خارج الوجود (أنت لا ترى حقاً الأحمر بل توهم نفسك بذلك، و أنت لا توجد حقاً بل توهم إحساسك بالوجود) أو أنها حقاً خصائص ظاهرة أساسية من ظواهر الطبيعة. لقد بذلت محاولات شجاعة للدفاع عن الحجة السابقة وأشهرها من قبل دانييل دانيت Daniel Dennett [١٣] ولكن القضية برأيي أبعد من أن تكون قد حلت.

ولأن المراجع حول هذا الموضوع غزيرة جداً، فلن أحاول هنا تلخيص الدفاع القوي الذي قدم **للطبيعة الأساسية** للحالات العقلية عموماً وللصفات خصوصاً[١٤]. سأعطي سببين إضافيين فقط لأخذ العقل جدياً كخاصة عميقة وذات معنى للكون الأول علمي والثاني فلسفي. من الصحيح أن مجال العقل لا زال غامضاً جداً ولكنني مقتنع بأن ظاهرة الوعي ستدرج في نهاية المطاف في الصورة العلمية للعالم وستفهم العلاقة بين العقل والمادة جيداً وبدون

اللجوء إلى تعريف الوعي خارج الوجود. كيف سيتحقق هذا يبقى بالطبع تخميناً ولكن هناك إشارة على الأقل حول كيفية تلاؤم العقل مع الفيزياء من الميكانيك الكمومي. وبالرغم من أن الأنظمة الكمومية غير أكيدة ذاتياً إلا أن إجراء تجربة سينتج عادة نتيجة محددة (انظر الصندوقين ٤ و ٨). ومنذ إدخال الميكانيك الكمومي أدرك الدور الأساسي لعمل القياس أو الملاحظة. وبينما يبقى من غير الواضح كيف يدخل العقل (مقابل الأدمغة أو أنظمة جمع المعلومات الأخرى) في هذه القضية، يبدو من المحتمل أن أية محاولة لإدخال الوعي ضمن حقل الفيزياء يجب صياغتها ضمن سياق المكيانيك الكمومي.

وتظهر مسألة إدخال المراقب في وصفنا للحقيقة الفيزيائية بشكل أكثر إلحاحاً عندما يتعلق الأمر بالكونية الكمومية – وهي تطبيق الميكانيك الكمومي على الكون كله – لأن على «الكون» بالتعريف أن يتضمن مراقبين. لقد أعطى أندريه ليند Andrei Linde سبباً عميقاً لدخول المراقبين في الكونية الكمومية بشكل أساسي. ويتعلق هذا السبب بطبيعة الزمان. فمرور الزمان ليس مطلقاً لأنه يتعلق دوماً بتغير نظام فيزيائي بالمقارنة مع نظام آخر، على سبيل المثال كم مرة تدور عقارب الساعة مقارنة بدوران الأرض. وعندما يتعلق الأمر بالكون كله يفقد الزمان معناه لأنه لا يوجد شيء آخر يمكن أن يقال بأن الكون قد تغير بالنسبة له. ويصبح «اختفاء» الزمان هذا للكون بكامله واضحاً جداً في الكونية الكمومية حيث يسقط متحول الزمان ببساطة من الوصف الكمومي[١٥]. ويمكن إذا أريد إرجاعه إلى النظرية اعتبار أن الكون مفصول إلى نظامين فرعيين: مراقب مع ساعة، والبقية. وبعدها يمكن للمراقب أن يقيس مرور الزمان بالنسبة إلى تطور باقي الكون. ولذا يلعب المراقب دوراً ضرورياً جداً في هذا الصدد. ويعبر ليندي عن ذلك تعبيرياً «لذا نرى أنه بدون إدخال مراقب فإن لدينا كوناً ميتاً لا يتطور مع الزمان[١٦] «و» نحن مع بعضنا بعضاً الكون ونحن. وفي اللحظة التي تقول فيها أن الكون يوجد بدون مراقبين فإنني لا أفهم شيئاً مما تقول. ولا أستطيع تخيل

نظرية متسقة لكل شيء تتجاهل الوعي... وبغياب المراقبين فإن كوننا ميت»[١٧]. ومن الواضح أن المراقبين سيوجدون فقط في تلك الأكوان الغولديلوكية Goldilock التي تسمح الظروف والقوانين فيها لهم بالظهور.

دعني الآن ألتفت إلى الحجة الفلسفية حول سبب اعتقادي بأن العقل يحتل مكاناً مميزاً في الكون. إنها تتعلق بحقيقة أن العقول (العقول البشرية على الأقل) هي أكثر بكثير من مجرد مراقبين. فنحن نقوم بأكثر من مجرد مراقبة العرض الذي تقدمه الطبيعة. لقد أصبح البشر ***يفهمون*** العالم على الأقل جزئياً، من خلال عمليات التفكير والعلم. وعلى الأخص فقد طورنا الرياضيات، وبذلك كشفنا عن بعض – وربما سريعاً كل – الشيفرة الكونية المخبأة والنغم العميق الذي ترقص الطبيعة عليه. لا شيء في حجة الكون المتعدد / المبدأ الإنساني بكاملها (وبالتأكيد لا شيء في النظرية الموحدة بدون متحولات حرة) يتطلب ذاك المستوى من الانخراط و***تلك*** الدرجة من الاتصال. ولتفسير كون صديق للحياة، فإن عملية الانتقاء الموجودة في المبدأ الإنساني الضعيف تتطلب مراقبين ليراقبوا **فقط** فليس من الضروري للمراقبين أن يفهموا. ومع ذلك فالبشر يفهمون. لماذا؟

إنني مقتنع بأن ***فهم*** البشر للطبيعة من خلال العلم والتفكير العقلاني والرياضيات دليل على اتصال أعمق بكثير بين الحياة والعقل والكون من ذلك الذي يظهرمن سحب يانصيب لكونية متعددة بحسب المبدأ الإنساني الضعيف. وبطريقة سأحاول شرحها قريباً فإن الحياة والعقل والقانون الفيزيائي، هي جزء من مخطط مشترك يدعم بعضه بعضاً. وبصورة ما فقد هندس الكون وعيه الخاص به. وسأناقش في المقاطع التالية أن صداقة الكون للحياة ***هي*** تأثير لإنتقاء المراقب ولكنها تعمل على مستوى أعمق بكثير من التفسير المحايد ل «فائزين في سحب يانصيب عشوائي».

لو كان صحيحاً أن الحياة والعقل خاصتان رئيستان من خصائص الكون كما اقترحت فإننا نتوقع أن يكونا منتشرين في الكون مثل المكوّنات

الرئيسة الأخرى (المجرات والنجوم والذرات). وبالمقابل إذا كانت الحياة على الأرض مجرد «غثاء كيميائي» ناجم ليس من مبدأ عميق ولكن من مجرد حوادث مستحيلة للقدرفمن المحتمل أن تكون محدودة بالنظام الشمسي فقط. هناك إذن طريقتان لاختبار الادعاء بأن الحياة ظاهرة أساسية وهامة وعامة. الأولى هي البحث عن أمثلة أخرى عن الحياة في مكان آخر من الكون نشأت من لا شيء بصورة مستقلة عن الحياة على الأرض. والثانية هي البحث عن دليل على أن الحياة على الأرض بدأت أكثر من مرة: ربما كان هناك نوع مختلف من الحياة الميكروبية لا يزال يزدهر في مكان ما ضمن الغلاف الحيوي للأرض[١٨]. ولو اكتشف أي من الاحتمالين فسيقترح هذا بأن الحياة مؤسسة بطريقة ما في الطبيعة العميقة للكون. – أي أنها «***ضرورة كونية***» بترديد وصف دي دوف المحرّض.

إن للإدعاء بأن الحياة والمراقبين نتاج حتمي لكون صديق للحياة ذاتياً جاذبية كبيرة بلا شك. ولكنها مع ذلك تصطدم ببعض العقبات الخطيرة علمياً وفلسفياً. ولمعرفة السبب خذ مثالين لنظامين فيزيائيين قرر لهما أن يظهرا بلا شك على أنهما الناتج النهائي الحتمي لقوانين الفيزياء. الأول هو البلورة. فبنية البلورة تحدد بالتناظرات الهندسية المبنية داخل قوانين الكهرطيسية. إن العملية التي يتبلور بواسطتها محلول من الملح مثلاً إلى بلورات صلبة ببنية هندسية معينة، معروفة جيداً وحتمية: فالشيء نفسه سيحدث كل مرة. والمثال الثاني هو التوازن الثرموديناميكي للغاز[١٩]. إذا أدخل غاز إلى وعاء مغلق بطريقة عشوائية وترك لوحده فإنه سيقترب بسرعة من حالة نهائية يصبح فيها الضغط ودرجة الحرارة ثابتين خلال الغاز وتتوزع سرعات الجزيئات طبقاً لعلاقة رياضية محددة (تعرف باسم توزع ماكسويل – بولتزمان) ومرة أخرى فالحالة النهائية قابلة للتنبؤ والتكرار[٢٠]. وتحدد هذه الحالة مسبقاً بواسطة قوانين الفيزياء. وبالتالي فمن الصحيح تماماً القول بأن الحالات النهائية للملح والغاز «**مكتوبة ضمن**» قوانين الفيزياء.

إن السؤال الذي يواجهنا هو فيما إذا كانت الحياة وربما الوعي مكتوبين في قوانين الفيزياء. هل من الممكن أن يكون ظهور الحياة من اللاحياة مشابهاً لعملية التبلور مثلاً وأن ينبع من قوانين الفيزياء وحدها بشكل محتم قابل للتنبؤ ضمن مجال واسع من الشروط الابتدائية؟ إن الجواب هو بالتأكيد لا. إن الأنظمة الحيوية تقع بين الحديين الأقصيين لبلورة وغاز عشوائي. فالخلية الحية تتميز بتعقيدها الهائل المنظم. فليس لها بساطة البلورة ولا فوضى الغاز[٢١]. إنها حالة محددة وغريبة من المادة ذات محتوى معلوماتي كبير. إن جينوم أصغر البكتريا المعروفة يحتوي الملايين من أحرف المعلومات – وهي معلومات ليست مشفّرة في قوانين الفيزياء. إن قوانين الفيزياء عبارة عن علاقات رياضية بسيطة يعبر عنها بوضوح بمعلومات قليلة. إنها قوانين عامة، ولأنها تطبق على كل شيء، فلا يمكنها أن تحتوي على معلومات محددة بنوع واحد من الأنظمة الفيزيائية – أي بكائن حي. ولفهم المحتوى المعلوماتي العالي للحياة يجب أن ندرك أنها ليست نتاج القوانين الفيزيائية فقط وإنما نتاج القوانين الفيزيائية وتاريخ البيئة معاً. لقد نشأت الحياة وطورت تعقيدها الهائل نتيجة لعملية استغرقت بلايين السنين وتطلبت عدداً ضخماً من خطوات معالجة المعلومات. ولذا فالكائن الحيوي يحتوي نواتج تاريخ معقد وملتو. ولتلخيصها بعبارة **فالحياة كما نلاحظها اليوم هي ١% فيزياء و٩٩% تاريخ.**

معالجة الكلمة T

إذا لم تكن الحياة مكتوبة ضمن قوانين الفيزياء كما نعرفها الآن هل من الممكن إكمال هذه القوانين بمبدأ تنظيمي معين يسهّل ظهور التعقيد الحيوي والمادة سريعة المسار والطاقة على الطريق نحو الحياة ضد الاحتمالات الصعبة ويدفعها باتجاه أشكال أكثر تعقيداً؟ اقترح مثل هذا المبدأ مرات عدة[٢٢] ولكنه اصطدم كل مرة بمعارضة عنيفة من العلم التقليدي. وليس من الصعب معرفة سبب هذا الرد السلبي. إن أي نوع من مبدأ الحياة أو الضرورة الكونية

يعيد الكلمة المكروهة – t: teleology الغائية إلى العلم. والكلمة مشتقة من اليونانية telos والتي تعني «غاية» أو «ناتج» وتذهب إلى لب ما يعنيه العلماء عندما يستخدمون كلمة **سبب**.

علّمنا أرسطو أن الأسباب تأتي بأنواع مختلفة اصطلح على تسمية إحداها ب «السبب النهائي»: فالحالة النهائية هي التي توجّه نحوها الأفعال. والأسباب النهائية شائعة في الأنشطة البشرية. وعلى سبيل المثال يذهب البناء لشراء الأحجار لبناء بيت ويضع الطاهي الطعام في الفرن لتحضير وجبة. وتشكّل مفاهيم الفرن والبناء كحالات نهائية جزءاً من سلسلة السببية. ومن الممكن أننا لم نكن لنفهم ما يقوم به البناء أو الطاهي دون أن نأخذ هذا «البعد الغائي» لأنشطتهما والذي ندعوه بتساهل **غايتهما** بعين الاعتبار. ويمكننا أيضاً أن نلحظ عمل **الغائية** في أفعال الحيوانات الأخرى: فالكلب يحفر في الحديقة لكي يخرج قطعة العظم، والصقر يهوي آملاً أن يلتقط الفأر. أعتقد أرسطو أن بإمكانه اكتشاف أسباب نهائية في الطبيعة غير الحيوانية أيضاً، ولا نزال نرى صدى لهذا الاعتقاد في عبارات مثل «يبحث الماء عن مستواه». ولكن منذ عهد نيوتن حرّم السبب النهائي في الفيزياء (أو على الأقل تضاءلت أهميته كثيراً) وعلى مستوى تفاعل ذرات مع ذرات أخرى فالسبب موجود في هذا التفاعل ولا يشير إلى أي نوع من القصد أو المصير أو الغاية النهائية.

ولكن عندما يتعلق الأمر بالأحياء فمن الصعب إنكار الغائية في التصرف – بالتأكيد بالنسبة لتصرف البشر. ولكن الغائية teleology استبعدت بحزم من نظرية **التطور** الحيوي لداروين. إن الفكرة الرئيسة في الداروينية هي أن الطبيعة لا يمكنها «أن تتطلع إلى المستقبل» وأن تتوقع ما الذي تحتاجه لتبقى على قيد الحياة. وباستخدام عبارة ريتشارد داوكنز فالطبيعة هي حقاً **صانع ساعات أعمى**: فالطفرات تحدث بشكل عشوائي وتختار بمقدار قدرتها على البقاء **في ذلك الوقت**. وتعمل الداروينية في هنا

والآن. والانتقاء يختار الأكثر تلاؤماً في أية لحظة. وبحسب داروين فالتطور «لن يذهب إلى أي مكان»: فليس هناك توجه ولا تخطيط مسبق[٢٣]. وبالتأكيد فقد يظهرالتطور ميولاً مثل النمو المتتابع لخرطوم الفيل، ولكن هذا ببساطة يحدث لأن ضغطاً انتقائياً ثابتاً تقريباً ضخّم خاصة مفيدة. ومن هذه الناحية تقف الداروينية في تناقض حاد مع النظرية البديلة (المرفوضة الآن) للتطور التي اقترحها لامارك Lamarck وهي وراثة خصائص مكتسبة، والتي ذكرتها مروراً في الفصل التاسع. في نظرية لامارك تجاهد الكائنات العضوية لتحقيق تأقلم أفضل وتورّث ثمار جهودها لأجيالها: على سبيل المثال تمد الزرافة عنقها لتصل إلى الأغصان الأعلى ونتيجة لذلك تخلّف زرافات بأعناق أطول. ولذا تحتوي **اللاماركية** على عنصر غائي واضح. ولكن انتصار الداروينية أعطى أي نوع من الغائية سواء في علوم الأحياء أو الفيزياء أو أي مكان آخر دعاية سيئة جداً[٢٤]. وحتى أنني أذهب إلى الحد الذي أقول فيه إن العلم في المراحل النهائية من غسيل الغائية[٢٥]. وينبع الرفض جزئياً من التصريحات اللاهوتية المصاحبة للغائية. وعلى الرغم من أن مبدأ أرسطو الأصلي حول السبب النهائي كان محايداً لاهوتياً إلا أن العلماء اصبحوا ينظرون إلى الغائية على أنها بمثابة **اليد الموجهة** لله وهي تعمل في الكون المادي. كان هذا مكروهاً وقد حيّا الملحدون إسقاط الغائية في نظرية التطور بحماس كبير. وعلى سبيل المثال كتب فريدريش انجلز Friedrich Engels إلى كارل ماركس Karl Marx عام ١٨٥٩ يقول: «إن داروين الذي أقرؤه الآن رائع جداً. بقيت ناحية واحدة من الغائية لم يتم التخلص منها حتى الآن، وقد تم هذا الآن»[٢٦].

ويغازل المبدأ الإنساني القوي وحتى «الضرورة الكونية» المعتدلة من النظرة الأولى لدي دوف الغائية. فهما يصفان التسهيل لحالة نهائية خاصة للأمور – الحياة والوعي – عبر سلسلة طويلة من الخطوات وهي سلسلة تأتي بعد بلايين السنين من «وضع» قوانين الطبيعة. ويوجّه العلماء المتعصبون احتقارهم لمثل هذه الأفكار الخيالية. وربما عبّر جيل مان Gell-Mann عن

غالبيتهم عندما كتب «يمكن للحياة أن تنشا تماماً من قوانين الفيزياء مع المصادفات، والعقل من الأعصاب الحيوية. وليس من الضروري افتراض آليات إضافية أو أسباب خفية»[٢٧] و«من المفترض أن ينطبق مثل ذلك المبدأ الغائي على ديناميكية الجسيمات الأولية والظروف الابتدائية للكون، بحيث تشكل هذه القوانين الأساسية بطريقة ما لتنتج بشراً. يبدو لي أن هذه الفكرة حمقاء بحيث لا تستحق نقاشاً أكثر»[٢٨].

إن الغائية غير محبوبة لدى العلماء ليس لأسباب منطقية فقط: فهناك حجج علمية صحيحة ضدها أيضاً. فبحسب النظرة التقليدية تقرر قوانين الفيزياء مسبقاً كل شيء يحدث في الطبيعة (حتى داخل عدم التأكد الكمومي) ما إن تحدد الظروف الابتدائية للنظام المطلوب. إذا حاولنا الآن أن نفرض قانوناً أو مبدأ إضافياً على قوانين الفيزياء فيبدو كما لو أن تناقضاً سيحدث. وعلى سبيل المثال إذا أبلغت قوانين الفيزياء الذرة أن تفعل شيئاً ولكن المبدأ الغائي يقول بأن عليها أن تفعل شيئاً آخر، فكيف يمكن للذرة المسكينة أن تقرر؟ يدعو الفيزيائيون هذا حالة من التحديد الزائد: فالنظام «مشبع تلقائياً» مسبقاً على المستوى الميكروي بقوانين الفيزياء الأساسية. وليس هناك «مكان في الأسفل» لأي ضرورة منافسة.

التخلي عن الأفلاطونية

سيفسح المجال للغائية

ليست هناك إمكانية لإدخال مبدأ إنساني قوي أو ضرورة حياتية إلى علم الكون طالما كان أصل الكون وتطوره محددين مسبقاً بقوانين الفيزياء كما ندركها الآن (على سبيل المثال بنظرية الأوتار / M). لكن هذا الاستنتاج الذي لا يدحض كما يبدو يخفي نقطة ضعف رغم أنها عميقة. إن الاعتراض بعدم وجود مكان هناك في الأسفل لأي مبدأ إضافي يعتمد على افتراض معين حول طبيعة قوانين الفيزياء: الافتراض المدعو بالأفلاطوني الذي ذكرته باختصارفي الفصل الأول. إن معظم الفيزيائيين النظريين أفلاطونيون بتصورهم لقوانين

الفيزياء على أنها علاقات رياضية محددة تمتلك وجوداً حقيقياً مستقلاً يتسامى على الكون المادي. (وصفت هذا الرأي في الشكل ٢). وعلى سبيل المثال تم تصور قوانين الفيزياء في النماذج الكونية البسيطة قبل الكون المتعدد حيث نشأ كون وحيد من «لا شيء» وهي «تسكن» ال «لا شيء» الذي سبق المكان والزمان[٢٩]. عبّر هاينز باكلز Heinz Pagels عن ذلك بوضوح «يبدو أنه حتى الفراغ (اللامكان واللازمان قبل الانفجار الكبير) يخضع لقانون وهو منطق موجود قبل الزمان والمكان. وبالمثل تعتبر نظرية الأوتار/M على أنها «**موجودة حقاً هناك**» في مجال أفلاطوني سام. ويوجد «هناك» أيضاً منظر نظرية الأوتار بشكلها المعقد والمفصل والمحدد بعلاقات فيزيائية معينة. وتوجد آلية توليد الأكوان في التضخم الأبدي «هناك» ويوجد الميكانيك الكمومي «هناك» أيضاً. ويعتبر الأفلاطونيون مثل هذه الأشياء على أنها حقيقية بشكل مستقل – مستقلة عنا ومستقلة عن الكون ومستقلة عن الكون المتعدد. ولكن ما الذي يحدث عندما نستغني عن تلك النظرة الأفلاطونية لقوانين الفيزياء؟

لدى أنطون زايلنغر Anton Zeilinger الفيزيائي النمساوي الذي يعمل على اختبارات الميكانيك الكمومي وتطبيقاته بعض التحفظات: «لا توجد القوانين التي نكتشفها حول الطبيعة مسبقاً على أنها» قوانين الطبيعة «في العالم الخارجي[٣٠]. ويفضل العديد من الفيزيائيين الذين لا يشغلون أنفسهم بالقضايا الفلسفية التفكير بالقوانين الفيزيائية بشكل عملي على أنها تنظيمات موجودة في الطبيعة وليست على شكل حقائق سامية لا تقبل التشويه ولها القدرة على تحديد تدفق الأحداث. وربما كان ويلر Weeler أكثر معارضي الأفلاطونية التزاماً. كانت **الطفرة** كلمته المختارة. كان يمزح بالقول «ليس هناك قانون سوى قانون عدم وجود قانون»[٣١]. وبتبني العبارة الجذابة «**قانون بدون قانون**» لوصف هذا الموقف المتناقض فقد أصر ويلر على أن قوانين الفيزياء لم تكن هناك مسبقاً وإنما نشأت من فوضى الانفجار الكبير. لقد ظهرت فجأة – متجمدة مع الكون الذي تحكمه بعد مولدها الغامض[٣٢]. لقد

صرّح» بحسب ما يمكننا أن نراه اليوم، لا يمكن أن تكون قوانين الفيزياء موجودة من البداية إلى النهاية. لا بد أنها **خلقت** مع الانفجار الكبير[٣٣]. ومن المهم أن ويلر لم يفترض ظهور القوانين فجأة جاهزة بشكلها النهائي ولكنها ظهرت بشكل تقريبي ثم تشذّبت مع الزمن: «لا بد أن القوانين خلقت. ولذا لا يمكن أن تكون دوماً صحيحة مائة بالمائة»[٣٤].

شجّعت فكرة أن قوانين الفيزياء ليست علاقات رياضية دقيقة مطلقاً ولكنها جاءت بنوع من الارتخاء الذاتي تناقص مع مرور الزمن، بالاعتقاد بأن الوجود الفيزيائي هو ما أطلق عليه ويلر«وحدة تنظيرية- معلوماتية». لقد وضح أن كل شيء نكتشفه حول العالم يختزل في نهاية المطاف إلى أحرف من المعلومات[٣٥]. وبالنسبة له فالكون المادي معلوماتي أساساً والمادة ظاهرة مشتقة من المعلومات (على عكس الترتيب التقليدي)، عبر تحول دعاه «هي من حرف». حيث «هي» مادة فيزيائية كالإلكترون مثلاً و«الحرف» هو وحدة المعلوماتية[٣٦].

لماذا توحي عبارة «**هي من حرف**» بعبارة «**قانون بدون قانون**»؟ كان رولف لاندور Rolf Landauer وهو فيزيائي عمل في شركة IBM وساعد في وضع أسس النظرية الحديثة للمعلوماتية قادراً على إيضاح العلاقة. رفض لاندور أيضاً الأفلاطونية على أنها مثالية غير مبررة. ما أزعجه هو أن الحوسبة في العالم الواقعي كلها تخضع لقيود ***فيزيائية***[٣٧]. فأحرف المعلومات لا تسبح بحرية في الكون بل تلتصق دوماً بأشياء مادية. على سبيل المثال، تتوضع المعلومات الجينية على القواعد النيوكليتيدية الأربعة التي تشكل الدنا. وفي الحاسوب تخزن أحرف المعلومات بطرق عدة ضمن حقول مغناطيسية مثلاً. ومن الواضح أن المرء لا يستطيع أن يمتلك برمجيات حاسوبية بدون **عتاد مادي** يدعمه. شرع لانداور بتفحص الحدود القصوى لأداء حاسوب يخضع عتاده لقوانين الفيزياء والموارد المحدودة للكون. استنتج أن القوانين الرياضية الكاملة والمثالية هي **مجرد خيال** بالنسبة لعالم البرمجة الحقيقي.

وللوقوف على منحى تفكير لانداور اعتبر العمليات الرياضية المرتبطة بتطبيق قواعد نيوتن. ابتكر نيوتن الرياضيات التي احتاجها لوصف هذه القوانين (وفعل ليبنز ذلك أيضاً مما أدى إلى نشوء جدل بين الطرفين حول الأسبقية). ودعاها نيوتن نظرية الفلكسيون fluxions وندعوها الآن التكامل والتفاضل. وبالنسبة للقراء الذين لم يتعلموا التفاضل والتكامل فإن التفاصيل غير مهمة، ويكفي القول إنها تحتاج بعض المتحولات مثل مكان جسم والزمان الذي يلاحظ فيه ليتغيرا بشكل **مستمر**. وعلى سبيل المثال فسرعة الجسم هي معدل تغير المكان بالنسبة للزمان. والتسارع هو معدل تغير السرعة بالنسبة للزمان. ولإجراء العمليات الرياضية الأساسية الموصوفة بقوانين نيوتن عليك أن تفترض أن الزمان والمكان مستمران ومتقطعان بشكل لا متناه. إن النتيجة هي أن قوانين نيوتن التي اعتبرت تعابير رياضية محددة تتطلب فواصل زمانية ومكانية لتكون مستمرة وناعمة على أي مقياس من التكبير وهبوطاً حتى الصفر.

يمكن إيضاح هذه الخصائص بما يدعوه الرياضيون الخط الحقيقي – وهو خط مستمر يمكن تمثيل كل نقطة عليه بعدد حقيقي. العدد الحقيقي هو عدد عشري مثل ٠,٥٦٣٧١٥٧٣٨ يمتلك معظمها تقريباً عدداً لا متناهياً من الأرقام بعد الفاصلة العشرية. ليست هناك فجوات على الخط الحقيقي: يمكن حزم الأعداد الحقيقية بعضها بعضاً عشوائياً. وتلعب الأعداد الحقيقية دوراً أساسياً جداً في النظرية الفيزيائية ليس في ميكانيك نيوتن فقط ولكن في الفيزياء كلها تقريباً. وعملياً بالطبع لا يمكننا إطلاقاً ملاحظة الزمان والمكان على مقاييس صغيرة عشوائياً. وأفضل ما يمكننا فعله حالياً هو مسح المكان بشكل غير مباشر حتى $١٠^{-١٨}$ سم والزمان حتى $١٠^{-٢٨}$ ثانية. لكن العلاقات الرياضية الداخلة في حل علاقات قوانين نيوتن أبسط لو افترضنا تمثيل العدد الحقيقي. وهذا حسن وجيد إذا كان البشر يقومون بالحسابات ولكن الحواسب لا يمكنها معالجة كميات لا نهائية أو لا متناهية في الصغر: فهي تتعامل بدلاً عن ذلك بأحرف متقطعة أو بقفزات (١ و ٠). ويمكن جعل حجم القفزات

صغيراً جداً في حساب معين ولكن كلما صغرت القفزة كلما استدعى ذلك قوة حاسوبية أكبر. إن القفزات دوماً محددة. ولذا يتطلب الأمر كمية لا نهائية من الطاقة الحاسوبية لتمثيل الخط الحقيقي.

كان السؤال الذي صاغه لانداور هو فيما إذا كان يجب أخذ التمثيلات الرياضية المتضمنة في قوانين نيوتن وقوانين الفيزياء الأخرى جدياً. وطالما حصرت القوانين ضمن حقل معين مجرد من الأشكال الرياضية المثالية فليست هناك مشكلة. ولكن إذا اعتبر أن القوانين تسكن **الكون الحقيقي** وليس الحقل الأفلاطوني الأسمى فقط فالقصة مختلفة جداً. سيكون الكون الحقيقي عرضة لقيود حقيقية. وبشكل خاص فقد يمتلك موارد محددة: فقد يمتلك على سبيل المثال عدداً محدداً فقط من الأحرف في زمن معين. وإذا كان الأمر كذلك فسيكون هناك حد ***كوني*** طبيعي للقوة الحاسوبية للكون ولو من حيث المبدأ فقط. ولكان من غير الممكن للأعداد الحقيقية التي أسست عليها الفكرة التقليدية لمعظم القوانين الفيزيائية أن توجد.

توصل غريغوري تشيتين Gregory Chaitin الذي يعمل مثل لانداور لشركة IBM كمنظر رئيس للأسس الفكرية للحوسبة إلى النتيجة ذاتها. وقد عبّر عنها تشبيهياً لماذا علي أن أعتقد بعدد حقيقي إذا لم يكن باستطاعتي حسابه وإذا لم أستطع أن أبرهن على حروفه وإذا لم أستطع حتى الإشارة إليه؟.... ويبدو الخط الحقيقي من ٠ إلى ١ أكثر فأكثر مثل جبنة سويسرية[٣٨]. كانت فكرة لانداورهي أنه لا يوجد مبرر لإقحام العمليات الحسابية في وصف القوانين الفيزيائية إذا لم يكن من الممكن تنفيذ هذه العمليات ولو من حيث المبدأ فقط، في الكون الحقيقي الخاضع كما هو الحال لقيود فيزيائية مختلفة. وبعبارات أخرى:

يجب رفض قوانين الفيزياء التي تلجأ لعمليات مستحيلة فيزيائيا على أنها غير قابلة للتطبيق.

وربما يمكن معاملة القوانين الأفلاطونية كتقريبات مفيدة ولكنها ليست «الحقيقة». ودقتها اللامتناهية تقديس لا ضرر منه عادة ولكن ليس دوماً. وستقودنا في بعض الأحيان إلى الضلال وخاصة في النقاش حول الكون الأولي.

الكون كحاسوب محدد

يظهر خرافة القوانين المثالية

ولرؤية أين تقع المشكلة دعنا نقدّر كيف يتناسب الكون الحقيقي بطاقته وموارده المحدودة مع المثالية الأفلاطونية. وكما رأينا في الفصل الثالث فإن الكون الملاحظ محدود لأن السرعة المحدودة للضوء تعني وجود **أفق**. وبما أنه لا يمكن لأي شيء فيزيائي أو تأثير أن يسافر أسرع من الضوء فإن الأجسام المفصولة بأكثر من المسافة إلى الأفق لا يمكنها التواصل مع بعضها بعضاً. ولذا يقول معيار لانداور بأن الحاسوب الكوني العظيم الذي ندعوه الكون الملاحظ، يجب أن يقيّد إلى أشياء محاطة بحجم من المكان أصغر من المسافة إلى الأفق – المنطقة التي كنت أدعوها بالكون الملاحظ. وفي الحقبة الحالية يحتوي المكان ضمن الأفق حوالي $١٠^{٨٠}$ ذرة وحوالي $١٠^{٩٠}$ نيوترينواً وفوتوناً. ويمكن لكل جسيم أن يحمل حروفاً قليلة من المعلومات فقط. ويمكن تشفير معلومات إضافية في الغرافيتونات التي يعتقد علماء الكون أنها تتخلل الكون، على الرغم من أن أحداً لا يتوقع جدياً اكتشاف أي منها في المستقبل المنظور. أجرى سيث لويد Seth Lloyd وهو منظر فيزيائي في معهد ماستيتيوتت للتقنية حساباً دقيقاً واستنتج رقماً كلياً حوالي $١٠^{١٢٠}$ حرف[٣٩]. إن الرقم الحقيقي أقل أهمية من حقيقة أن الكمية الكلية من المعلومات المحتواة في الكون على الرغم من أنها هائلة إلا أنها مع ذلك محدودة.

وبحسب فلسفة لانداور فمن العبث تطبيق قوانين الفيزياء على مستوى من التفصيل يتطلب معالجة أحرف من المعلومات أكثر من الحد الأقصى الكوني $١٠^{١٢٠}$ لأن هناك عدم دقة ذاتية (أو بحسب ويلر "higgledy-piggledy") معينة بهذا الرقم الهائل. ولأخذ مثال محدد ينص قانون الحفاظ

على الشحنة الكهربائية على أن الشحنة على الإلكترون يجب أن تكون ثابتة ***تماماً*** مع الزمن. وبحسب رأي لانداور فإن هذا التصريح لا معنى له لأنه يوحي بدقة لا متناهية. وبدلاً من ذلك على المرء أن يتخيل أن القانون ينطبق بدقة محددة تصل إلى جزء من حوالي 10^{120} فقط. وبما أننا نستطيع حالياً قياس شحنة الإلكترون إلى دقة تصل إلى حوالي ١ جزء في 10^{12} تقريباً فمن الصعب اعتباره قيداً خطيراً. وبالنسبة لكل الأغراض اليومية تقريباً ليس من المهم إذا اعتبر الكون حاسوباً محدوداً بدقة محدودة أم نظاماً ملتزماً بقوانين رياضية دقيقة[٤٠].

وعلى الرغم من أن «مساحة الاهتزاز wiggle» لقوانين الفيزياء التي يوحي بها الحد الأعلى الكوني المشتق من قبل لويد غير هام كثيراً اليوم، إلا أنه ربما كان هاماً جداً في الماضي. ويعود ذلك إلى أن نصف قطر الأفق ليس ثابتاً ولكنه يزداد مع الزمن بسرعة تعادل سرعة الضوء. ولذا فإن عدد الجسيمات الموجودة ضمن حجم من المكان محدود بالأفق يزداد سنة فسنة مع تمدد الأفق ليشمل كمية أكبر فأكبر من المادة – ولذا فقد كان هذا العدد في الماضي أصغر. وبعد ثانية من الانفجار الكبير على سبيل المثال احتوى الكون حوالي 10^{86} جسيماً فقط – ولا يزال الرقم كبيراً جداً بالنسبة لعدم الدقة المعنية ليشكل فارقاً كبيراً. وفي زمن التضخم كان نصف قطر الأفق تريليون التريليون من السنتيمتر فقط وكان المحتوى المعلوماتي الكلي لحجم أفق حوالي ا بليون حرف فقط. ويمثّل مثل هذا الرقم الصغير من الأحرف درجة عالية من اللاإرتخاء أو الازدواجية في عمل أية قوانين فيزيائية بما في ذلك قوانين نظرية الأوتار/ M (أو أية نظرية يفترض أنها تحكم عملية التضخم). ذكرت اقتراح ويلر بأن قوانين الفيزياء ظهرت فجأة عند الانفجار الكبير بشكل أقل دقة ومن ثم «تجمدت» مع مرور الزمن. أظهرت في هذا القسم كيف أن قبول الكون كمصدر حاسوبي محدود وباستخدام عمل لانداور ولويد يمكن جعل اقتراح ويلر واضحاً.

الرياضيات والفيزياء

يظهران كشيء واحد

هل يمكن للأفكار التي وضعت في المقطع السابق أن تساعدنا على فهم السر العميق لماذا كان الكون رياضياً؟ كتبت في الفصل الأول حول «النص المخفي» للطبيعة وهو حقيقة أن القوانين التي تحكم العالم الفيزيائي هي رياضية من حيث الشكل، وكيف استطاع العلماء بالعثور صدفة على هذه «الشيفرة الكونية» أن يكتشفوا سبل عمل الكون. ولم تفسر الفيزياء التقليدية حقيقة التزام الطبيعة بشكل فعّال بمبادئ رياضية أنيقة. ويضطر الفيزيائيون لافتراض وجود حقلين منفصلين: العالم الأفلاطوني المؤلف من أشياء رياضية مثالية موجود خارج الكون المادي وعالم المكان والزمان والأشياء المادية. ومن ثم افترض وجود صلة عميقة تربط بين هذين الحقلين[٤١]. ويعبر باول بينيوف Paul Benioff من مختبر أرغون الوطني وأحد رواد الحوسبة الكمومية عن هذا الافتراض تشبيهياً بالقول «تعالج الفيزياء النظرية الرياضيات بطرق عدة كما لوكانت مستودعاً للأشياء.... إذا درس نظام تحتاج إليه الفيزياء فإنه يؤخذ من المستودع وتستخدم النظريات الموجودة وإذا كنت هناك حاجة يبرهن على نظريات جديدة». ويحاجج بينيوف بأن نظرية نهائية لكل شيء لا يجب أن توحّد الفيزياء كلها فقط ولكنها يجب أيضاً أن تقدّم تفسيراً واحداً للفيزياء والرياضيات. وبعبارات أخرى يجب عدم افتراض وجود الفيزياء والرياضيات منفصلين مسبقاً ولكنهما ظهرا معاً من نظرية وجود واحدة ومتناسقة. وبهذه الطريقة تدخل كفاءة الرياضيات في وصف العالم المادي آلياً ضمن خطة التوحيد.

وطالما آمن العلماء بقوانين أفلاطونية ثابتة تسمو على العالم الفيزيائي فإن توحيد الرياضيات والفيزياء يبقى مستحيلاً وتبقى الطبيعة الرياضية للقوانين الفيزيائية سراً. ولكن الأخذ بالنظرة المعلوماتية التي وصفتها في

المقاطع السابقة حيث ترتبط الرياضيات بالعالم الفيزيائي ويرتبط العالم الفيزيائي بالقوانين الرياضية يقدم الأمل بتوحيد كامل. ولتحقيق هذا الهدف من الضروري وصف تداخل متسق ذاتياً للرياضيات والفيزياء[٤٢]. والسؤال المثير غير المحلول عندها سيكون فيما إذا كان معيار الاتساق الذاتي صارماً بما يكفي بحيث يستبعد بعض القوانين: على سبيل المثال هل هناك حاجة للميكانيك الكمومي كنظرية أساسية للمادة؟

إن جزءاً من سبب عدم تأكد الرياضيين من طبيعة الرياضيات هو أن عملها يبدو من جهة مثل رحلة اكتشاف – «يصادف» الرياضيون أشياء وعلاقات رياضية هي بمعنى ما موجودة مسبقاً – ولكنها من جهة أخرى نتاج الذكاء البشري. لذا فهل الرياضيات مكتشفة أم مخترعة؟ يؤمن الأفلاطونيون بالفكرة الأولى – وهي أن للرياضيات حقيقة مستقلة وأن البشر محظوظون بالوصول إليها وأن يجدوا مثل هذه التطبيقات المفيدة للطبيعة. ولكن إذا رفضت الأفلاطونية فعلينا عندئذ أن نقبل أن العقل أو الذكاء يلعبان دوراً أعمق بكثير في تفسير الكون المادي كما يؤكد مؤيدو المبدأ الإنساني القوي. ويصل بينهوف إلى النتيجة نفسها. وهو يحاجج على وجود نظرية مؤسسة واحدة. وهو يقول «بما أن الكائنات العاقلة ضرورية لخلق مثل هذه النظرية فيتبع من ذلك أنه يتوجب أن تجعل الخصائص الرئيسة للكون الفيزيائي من الممكن للكائنات العاقلة أن توجد.... لا شيء من هذا يوحي بأنه يجب على الكائنات العاقلة أن توجد فقط بل إنه يجب أن يكون ممكناً لها أن توجد»[٤٣]. وبهذه الطريقة ستظهر الرياضيات والفيزياء والحياة والعقل من **مخطط بديهي مشترك**.

إن الحجة الرئيسة ضد وجود أي نوع من مبدأ عام يحبذ ظهور الحياة والعقل – على سبيل المثال الضرورة الكونية لدي دوف، أو المبدأ الإنساني القوي لكارتر – هي أن القوانين الرئيسة للفيزياء إضافة للشروط الابتدائية تحدد مسبقاً ما تفعله الأنظمة الفيزيائية وليس هناك ببساطة مجال لقانون

غائي إضافي يمكن له أن يعمل. ولكن لو كانت القوانين الأساسية للفيزياء غير صلبة حقاً بالمعنى الأفلاطوني وإذا كان هناك ارتخاء أو قيد ذاتي على دقة هذه القوانين – وعلى الأخص في اللحظات الأولى من عمر الكون عندما وضعت طبيعته المؤيدة للحياة – فهناك ثغرة لميل قانوني لوجود الحياة والعقل سلمياً مع القوانين التقليدية للفيزياء. ولن يكون هناك أي صراع بينها.

إن السماح بميل نحو وجود الحياة شيء وتحقيق ذلك شيء آخر. خرجت الغائية من التفضيل ليس بسبب تناقضها المدرك مع قوانين الفيزياء فقط. إنها تعاني أيضاً من مشكلة يبدو أنها غير قابلة للحل تتعلق بالسبب والنتيجة. فالغائية بالتعريف طريقة لتوقع حالة مستقبلية معينة (في هذه الحالة الحياة) وتحقيق هذه الحالة في الزمن المناسب. إن هذا العنصر الواضح للتقرير المسبق يتناقض تماماً مع المفهوم العادي **للسببية** في العلم حيث يمكن للحوادث الحالية أن **تؤثر على المستقبل لا على الماضي**. إن الغائية تعكس ذلك تماماً وتدع الحالات المستقبلية تؤثر على الحاضر. كيف يمكن ذلك؟ كيف أمكن للكون الأولي جداً – الحقبة التي كانت فيها قوانين الفيزياء لا تزال في فرن الصهر – أن يعرف حول ظهور الحياة والعقل بعد بلايين السنين؟!

يمكن للميكانيك الكمومي

أن يسمح بنوع خفي من الغائية

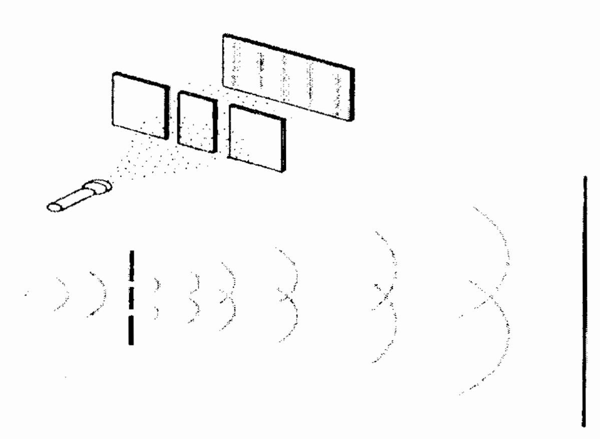
على الرغم من أن الفكرة قد تبدو جنونية في البداية إلا أنه ليس هناك في الحقيقة عائق أساسي يقف أمام آلية تسمح لحوادث لاحقة أن تؤثر على حوادث سابقة. وفي الحقيقة هناك بعض النظريات الشهيرة في الفيزياء التي تتضمن بوضوح ***سببية راجعة*** – أي حوادث مستقبلية لها تأثير على حوادث

سابقة. اقترح ويلر مع تلميذه آنذاك ريتشارد فينمان إحدى هذه النظريات في منتصف الأربعينات[٤٤]. يمكن للتداخلات الكهرطيسية في نظرية ويلر– فينمان في الكهروديناميك أن تنتقل للأمام وللوراء أيضاً مع مرور الزمن. غير أن علي أن أضيف بسرعة بأنه لا يوجد دليل تجريبي يؤيد النظرية. وقد اقترح شيء مماثل بالنسبة للثقالة من قبل هويل ونارليكار Narlikar [٤٥] وللكونية الكمومية من قبل جيل- مان وهارتل[٤٦] ومن قبل هاوكنغ[٤٧]. ومرة أخرى تسكت التجربة والملاحظة حول هذه الأفكار ولكن هذه النظريات بالتأكيد ليست «لا علمية» ولا تزال أنواع منها تختبر إلى اليوم. فقط عندما تتعلق الحالات النهائية بالحياة والعقل يخاف معظم العلماء وينسحبون. ذلك لأن الفيزيائيين لا يعتبرون الحياة والعقل عادة على أنهما أساسيان. والأكثر من ذلك فقد تأثرا سلباً في حقبة ماضية بارتباطات سرية مع قوى حية. ولكن كما ناقشت مسبقاً في هذا الفصل يمكن البرهان على أن الحياة والعقل هما ظاهرتان فيزيائيتان أساسيتان ولذا يجب أن يدخلا في المخطط الكوني الشامل. ويأتي أحد البراهين الممكنة على الدور المحوري للعقل من الطريقة التي يدخل فيها فعل الملاحظة في الميكانيك الكمومي. لقد تبين أن عملية الملاحظة تخفي نوعاً عميقاً وغامضاً من الغائية. ولمعرفة السبب نحتاج لفحص تفاصيل قياس كمومي معين.

إن إحدى تجليات الغرابة الكمومية المعروفة جيداً هي أن الكمية الكمومية كالفوتون يمكن أن تتصرف أحياناً كموجة وأحياناً كجسيم. (انظرالصندوق ٤). وتعتمد الخاصة التي يظهرها الفوتون على الترتيب التجريبي المستخدم لملاحظتها. وعلى سبيل المثال عندما يصطدم الفوتون بلوح تصوير ويترك بقعة صغيرة عليه فهو يظهر طبيعته كجسيم. ولكن يمكن للمرء أن يجعل الفوتونات تتصرف كموجات أيضاً باستخدام تجهيزات مختلفة. خذ على سبيل

المثال تجربة شهيرة أجريت لأول مرة في القرن الثامن عشر من قبل الفيزيائي الإنكليزي وعالم المصريات ثوماس يونغ Thomas Young. ويظهر الشكل ٣١ ترتيب هذه التجربة. تتألف التجربة من مصدر نقطي للضوء ومن لوحة بشقين تدع الضوء يمر من خلالها. تفحص صورة الشقين على شاشة ثانية. قد تعتقد بأن الصورة ستتألف من بقعتين متداخلتين من الضوء قريبتين من بعضهما بعضاً. وفي الحقيقة تظهر الصورة على شكل سلسلة من الخطوط المعتمة والمضيئة تدعى حواف التداخل والتي تنشأ بسبب الطبيعة الموجية للضوء. تمر الأمواج عبر الشقين وتنتشر على الطرف البعيد. وعندما تندمج الأمواج من أحد الشقين مع الأمواج من الشق الثاني يتحد منبعا الضوء[٤٨]. إذا وصلت الأمواج متناسقة مع بعضها بعضاً أي بالطور ذاته فهي تقوّي بعضها بعضاً، أما إذا كانت خارج الطور فإنها تلغي بعضها بعضاً. قدّمت حواف التداخل المضيئة والمعتمة ليونغ البرهان الأول الأكيد على أن الضوء عبارة عن موجة[٤٩].

لكن الأمور تصبح محيّرة عندما نأخذ الطبيعة الجسيمية للضوء بعين الاعتبار – ناحية الفوتون. في الخبرة العادية يكون الجسيم محدوداً في مكان ما بينما تكون الموجة منتشرة. ويمكن للموجة أن تعبر الشقين وتتحد – وهذا هو أساس ظاهرة التداخل – ولكن على الجسيم بالتأكيد أن يعبر أحد الشقين أو الآخر. لو تصرّف الضوء كتيار من الجسيمات مثل الرصاص من بندقية آلية، فليس من الممكن حصول تداخل لأن الفوتون سيمر عبر أحد الشقين فقط ولن يعرف شيئاً عن الشق الآخر. إلى هنا يبدو كل شيء واضحاً. لذا ما الذي يحدث إذا خفض المجرب شدّة مصدر الضوء إلى الدرجة التي يعبر فيها فوتون واحد فقط في كل مرة الجهاز؟ يمكن تسجيل وصول كل فوتون لوحده بواسطة لوح تصوير مثلاً. يخلق الفوتون بقعة صغيرة على اللوح.

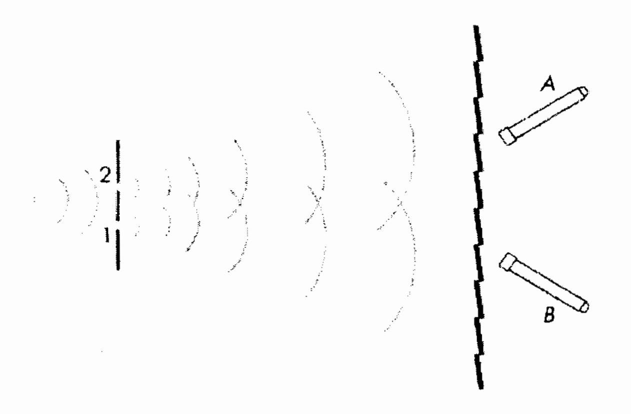


الشكل ٣١ موجة أم جسيم – أم كلاهما؟

يوضح الشكل تجربة الشقين الشهيرة ليونغ كما ترى من الأعلى. يسقط الضوء من منبع نقطي على شاشة بشقين، ويصنع خيالاً على شاشة ثانية. ويظهر الخيال على شكل حزم شاقولية فاتحة وغامقة تدعى بحواف التداخل. (مبينة في الخيال ثلاثي الأبعاد في أعلى اليسار). وتوضح هذه التجربة الطبيعة الموجية للضوء. ولكن يمكن اعتبار الضوء على أنه مصنوع من جسيمات (فوتونات) أيضاً. يمكن تعتيم منبع الضوء إلى درجة يمر فيها فوتون واحد خلال الجهاز. ويصل كل فوتون إلى نقطة محددة على شاشة الخيال. وعندما يتراكم عدد كبير من هذه النقاط يمكن تمييز نموذج تداخلي مبقع، ولذا يجب أن تكون الفوتونات عالمة بالشقين رغم أن الفوتون يمر من أحد الشقين أو من الآخر. وإذا نظر المجرب عمداً ليرى أي الشقين يمر منه كل فوتون فلن يتشكل نموذج التداخل وستضيع الطبيعة الموجية للضوء: سيتصرف الضوء كتيار من الجسيمات فقط.

توضح تجربة الشقين بشكل كبير الدور الرئيس الذي يلعبه المجرب أو ***الملاحظ*** في تحديد طبيعة الحقيقة الكمومية. ولكن ما شأن هذا بالسببية الراجعة؟ لقد دفن في تعقيدات المناقشة حتى الآن سؤال لم تتم الإجابة عليه: متى بالضبط، قررت الطبيعة أن تختار الجسيم أو الموجة؟ لقد قارب ويلر هذا السؤال في الثمانينات بتصور إجراء تحسين على تجربة يونغ. لقد كانت فكرته تحويل شاشة الخيال إلى لوح تعمية، ووضع زوج من الكواشف (منظارين صغيرين على سبيل المثال) وراءه، بحيث يسلط كل واحد منهما على شق (انظر الشكل ٣٢). إذا بقي لوح التعمية مغلقاً، فإن النظام يعمل كما

في التجربة الأصلية حيث تظهر الطبيعة الموجية للضوء على شكل نموذج تداخل. ولكن إذا فتح لوح التعمية بحيث يسمح للفوتونات أن تمر عبره، فيمكن استخدام الكواشف لنعرف من أي الشقين أتت الفوتونات. إذا سجل الكاشف A فوتوناً نعرف أنه مرعبر الشق ١ بينما إذا سجل الكاشف B فوتوناً فسنعرف أنه مرعبر الشق ٢. (وإذا أخطأ الفوتون أياً من الشقين فلا نستطيع أن نقول شيئاً). في هذه التجربة تتوضح الطبيعة الجسيمية للضوء. ويمكن للمجرب أن يقرر بناء على أساس فوتون - فوتون أي تركيب تجريبي يستخدمه، وبالتالي أية طبيعة للضوء ستظهر - موجة، موجة، جسيم، موجة، جسيم، جسيم، موجة..... وهكذا بتسلسل عشوائي.



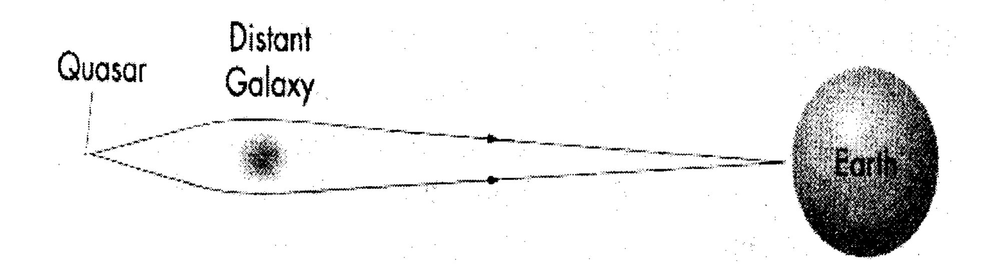
الشكل ٣٢ تجربة الاختيار المؤجل

تصور جون ويلر تعديل جهاز التجربة الموضح في الشكل ٣١ لقد استبدل لوح التعمية بشاشة الخيال (موضح في الشكل حيث تكون ألواح التعمية شاقولية) ووضع زوجاً من المناظر خلفه، بحيث يوجه كل منظار نحو شق. عندما يقترب فوتون من لوح التعمية، قد يختار المجرب أن يترك لوح التعمية مغلقاً وأن يسترجع نتائج تجربة يونغ التقليدية (التداخل الموضح في الشكل ٣١)، أو أن يفتح لوح التعمية ويسمح للمنظارين أن يسجلا أي شق مر منه الفوتون. ولكن كيف «عرف» الفوتون أثناء مروره اللوحة الأولى ماذا سيختار المجرب؟ إن القرارات اللحظية التي يقوم بها المجرب تؤثر على طبيعة الحقيقة (في هذه الحالة، جسيم أم موجة) كما كانت في الماضي.

ويصل كل فوتون إلى مكان محدد على اللوحة - إنه لا ينتشر ليساعد في صنع نموذج أو شكل. ولكن عندما يسمح للتجربة بالعمل بحيث تتراكم نتائج عدد من الفوتونات يبدأ عندها نموذج تداخلي بالظهورعلى شكل بقع ناتجة من صدمات الفوتونات المستقلة. لذا فبالرغم من أن وصول الضوء-سجل على شكل نقاط مستقلة تشبه الجسيم إلا أن التأثير الجماعي هو إنتاج نموذج **تداخل موجي**. الآن تبدو هذه النتيجة غريبة لأنها توحي بأن أي فوتون لا بد أنه يعرف بطريقة ما عن الشقين بحيث يتعاون مع الفوتونات الأخرى لخلق نموذج التداخل الجماعي - بالرغم من الحقيقة التي تقول بأن على الجسيم أن يمر من شق واحد فقط. ويعبّر عن هذا أحياناً بالقول بأن الفوتونات مرت عبر الشقين ***كليهما*** وأنها في **مكانين في الوقت ذاته!** ولكن - وهذا هام - سيظهر نموذج التداخل فقط إذا لم يحاول المجرب تحديد الشق الذي مر منه فوتون معين. إن أي جهاز تجسس يوضع قرب الشقين ليراقب مرور الفوتونات من شق أو آخر سيفسد التجربة. إذا نجح المجرب في اكتشاف فوتون يمر عبر شق معين فلن يساهم ذلك الفوتون في ظاهرة التداخل.

نصل الآن إلى النقطة الهامة. يمكن للمجرّب أن يؤجل الاختيار - موجة أم جسيم - حتى اللحظة التي يصل فيها الفوتون إلى لوحة التعمية. إن السر الذي علينا أن نواجهه هو ***متى*** تبنّى الفوتون الشكل المختار - موجة أم جسيم - من قبل المجرب. كيف يمكن لفوتون أن يعرف قبل التجربة فيما إذا كان المجرب سيفتح لوح التعمية أم لا؟ هل سيؤخر الفوتون قراره - موجة أم جسيم - حتى يقوم المجرب بالاختيار؟ لا يمكن أن يكون ذلك صحيحاً لأنه لو كان الفوتون جسيماً فسيمر من شق واحد فقط، بينما لو كان موجة فسيمر من الشقين. وهو بحاجة ليعرف متى سيصل إلى اللوحة ذات الشقين وماذا سيكون موجة أم جسيم (أي أن يمر عبر شقين أو عبر شق واحد فقط). لا يمكنه الانتظار حتى يصل إلى لوح التعمية[٥٠].

تخيل ويلر تجربة يونغ على «الطبيعة» حيث يحدد الطريقان ليس بشقين في لوحة ولكن بتأثير الثقالة لمجرة تعترضهما تلف الضوء القادم من شبه – نجم بعيد (انظر الشكل ٣٣). إذا أمكن استمداد تجربة **الخيار المؤجل** من حيث المبدأ على الأقل إلى أبعاد ما بين المجرات بهذه الطريقة فسيحتاج الفوتون ليعرف ما سيفعله (طريق واحد أو اثنان حول المجرة) منذ ***بلايين السنين قبل أن توجد الأرض*** ناهيك عن أن يتم هذا قبل قيام المجرب بالاختيار.



الشكل ٣٣ تجربة اختيار كوني مؤجل

يمكن من حيث المبدأ إجراء التجربة الموضحة في الشكل ٣٢ ضمن سياق فلكي. يحنى ضوء قادم من شبه – نجم بعيد تحت تاثير ثقالة مجرة ويوجه نحوالأرض. يمكن للفوتونات أن تصل إلى الأرض عبر مسارين مقلدة الشقين لتجربة يونغ الأصلية (الشكل ٣١).

من المدهش أن تجرى تجربة تأجيل الاختيار لويلرعلى الرغم من أنها لم تتم على مصدر فلكي. أجري الاختبارالتجريبي لأول مرة في مخبر أرضي من قبل كارول آللي Carroll Alley ومساعديه في جامعة ميريلاند[٥١]. استبدل آللي محولاً الكترونياً فائق السرعة يضيء عشوائياً بصانع القرارالبشري البطيء، كما عدّل نواحي أخرى من فكرة ويلر الأصلية. ومع ذلك استطاع تأكيد الإدعاء الأساسي الذي قام به ويلر. اكتشف أن الفوتونات التي «صدمت بالفعل لوح التعمية» شكلت نموذجاً تداخلياً وأن تلك التي سمح لها بالعبور لم تفعل ذلك (تلك الفوتونات التي ميّز مصدرها بشكل صحيح).

كيف يجب تفسير هذه التجربة؟ إن ما لا تفعله هو إثبات احتمال التأشير رجوعاً في الزمن إلى الوراء: ***لا يمكن إرسال معلومات حقيقية إلى الماضي*** باستخدام تجربة الاختيار المؤجل. (تعطي كثير من الأوصاف الشائعة الانطباع المضاد الخاطئ). لو حاول متعاون موجود بالقرب من الشقين اكتشاف ما سيقوم به المجرب بالنظر إلى كل فوتون يمر أمامه فإن فعل المراقبة نفسه للمتعاون سيفشل التجربة[٥٢]. إن الطريقة المثلى للتفكير بتجربة الاختيار المؤجل هي اعتبار الفوتون بمعنى ما ***أقل من حقيقي بغياب الملاحظة***. لا أود أن أعطي الانطباع بأن الفوتون لم يكن موجوداً في أوقات أبكر فالنقطة هي أنه بغياب الملاحظة الفعلية أو عملية القياس فإن حالته – والتي يمكن تحديدها بالضبط بالميكانيك الكمومي – لا تحدد موجة أو جسيماً أو حتى «جزءاً من كليهما». وتأتي مصطلحات جسيم– موجة في سياق تجربة فعلية فقط. إن غرابة تجربة الاختيار المؤجل هي أنه على الرغم من أن فعل المجرب هو المسؤول عن تثبيت الطبيعية الجسيمية أو الموجية للفوتون إلا أن الملاحظة التي أجريت لها علاقة ضرورية بالماضي – وربما حتى بالماضي السحيق جداً. لذا فإن ما يختار المجرب أن يفعله اليوم **يساعد** في تشكيل طبيعة الحقيقة (على سبيل المثال جسيم أو موجة) **والذي كان موجوداً** ربما منذ زمن بعيد جداً. إن هذا ليس مشابهاً تماماً للسببية الراجعة الواضحة (والتي تمكن المجرب من إرسال إشارة إلى الماضي) ولكن هناك إحساس **غائي** واضح فيه. وسأصفه مستخدماً مصطلحات ويلر ب «***غائي بدون غائية***»[٥٣].

بدأت هذا الفصل بتقديم ما يدعى بالمبدأ الإنساني القوي وهو مجموعة رخوة من الأفكار التي تحاول أن تبرهن على أن ظهور الحياة والعقل في الكون مقرّر مسبقاً ومحتّم بطريقة ما – أي أنها مبنية في طبيعة الكون نفسه على أعمق مستوى. ولكن كما رأينا لكي ينفّذ مثل هذه الفكرة هناك متطلبان ضروريان. الأول هناك حاجة لمبدأ عام مثل مبدأ الحياة إذا شئت والذي يجب أن يتسق بطريقة ما مع القوانين الفيزيائية الأساسية العمياء– للحياة الموجودة

مسبقاً. والثاني هو نوع ما من الغائية لتتسلل راجعة إلى علم الكون. اقترحت بأن المشكلة الأولى يمكن أن تحل بالتخلي عن النظرة الأفلاطونية المتصلبة بالنسبة لطبيعة القوانين الفيزيائية واستبدالها بنظرية معلوماتية حيث تأتي قوانين الفيزياء المعروفة فيها بمستوى ذاتي من الرخاوة أو المرونة – وهو مستوى ضئيل اليوم ولكنه كان أكبر بكثير في اللحظات الأولى من عمر الكون عندما تأسست القوانين والشروط المؤيدة للحياة.

إن المشكلة الثانية – المتعلقة بنوع من الغائية – يمكن أن تحل بالميكانيك الكمومي. وبالتأكيد فقد آمن ويلر بذلك. لقد نظر إلى المراقبين على أنهم ***مشاركون*** في صياغة الحقيقة الفيزيائية وليس مجرد متفرجين. وليس هذا بحد ذاته شيئاً جديداً: فالفلاسفة متجذّرون في هذا التقليد. لكن الخاصة الجديدة التي أدخلها ويلر عن طريق تجربته حول الاختيار المؤجل هي إمكانية المراقبين اليوم وفي المستقبل على تشكيل طبيعة الحقيقة الفيزيائية ***في الماضي*** بما في ذلك الماضي البعيد عندما لم يكن هناك أي مراقبين. وهذه بالفعل فكرة ثورية لأنها تعطي الحياة والعقل نوعاً من الدور **الخلاق** في الفيزياء وتجعلهما جزءاً لا يستغنى عنه من القصة الكاملة للكون. ومع ذلك فالعقل والحياة ***هما نتاج*** الكون. ولذا توجد هنا دارة منطقية وزمنية أيضاً. أما العلم التقليدي فيفترض ***سلسلة منطقية خطية***: الكون ومن ثم الحياة ومن ثم العقل. اقترح ويلر إغلاق هذه السلسلة وجعلها على شكل دارة: الكون ومن ثم الحياة ومن ثم العقل ومن ثم الكون. عبر عن هذه الفكرة الرئيسة باقتصاد مميز في الكلمات: «تنشئ الفيزياء مشاركة المراقب وتنشئ مشاركة المراقب المعلومة وتنشئ المعلومة الفيزياء». ولذا فالكون يفسر وجود المراقبين ووجود المراقبين يفسر بدوره وجود الكون. ولذا رفض ويلر فكرة الكون كآلة تخضع لقوانين مسبقة ثابتة واستبدلها بعالم يولّد نفسه ذاتياً دعاه «الكون التشاركي». وباقتراح دارة تفسيرية مغلقة مشابهة لحجة التناسق الذاتي لبينوف التي ذكرتها في المقطع السابق تجنّب ويلر ببراعة مشكلة برج السلاحف سيئة الذكر. فليست هناك حاجة لسلحفاة فائقة حاملة إذا كان الكون الصديق للحياة يفسّر نفسه.

سيصبح الكون و العقل شيئاً واحداً

في المستقبل البعيد جداً

إنها لقفزة كبيرة من تجربة الاختيار المؤجل التي تتعامل مع فوتونات مفردة إلى ***الكون بكامله*** الذي خلق بطريقة ما (أو على الأقل أسقط بشكل محدد ومتماسك) بواسطة مشاركيه – ملاحظيه. ماذا عن تلك الفوتونات كلها ناهيك عن الجسيمات الأخرى التي لا تلاحظ؟ تذكر مع ذلك، أنه ليس من الضروري أن يكون المراقبون بشراً – فقد يكونون أي نوع من أنواع الكائنات العاقلة في الكون. إن الأهم هو أنه ليس من الضروري حدوث الملاحظات الآن. وبسبب خاصية الرجوع في الزمن للميكانيك الكمومي يمكن للماضي أن يتأثر بملاحظات في أية مرحلة من مراحل المستقبل الكوني.

سار الإنسان على سطح الكوكب لفترة تعد بمثابة طرفة عين بحسب المصطلحات الكونية. ومن المفترض أن تبقى الأرض صالحة للحياة لبليون عام آخر على الأقل. وهناك وقت كاف لأحفادنا سواء كانوا طبيعيين أم مصنوعين من لحم ودم أو من آلات (أو مزيجاً من الاثنين) لأن يستقروا في مكان آخر. وستنقضي مئات البلايين من السنين قبل أن تصبح النجوم نادرة. وحتى ذلك الوقت ستظل هناك ثقوب سوداء – البقايا الميتة من النجوم – تخزّن كمية هائلة من الطاقة الممكن استعمالها. وليس هناك سبب أساسي يمنع استمرار الحياة والعقل لتريليونات التريليونات من السنين. ونستطيع بالتأكيد التخيل – كما يفعل كثير من كتاب الخيال العلمي- أنه خلال أيونات من السنين التي لا تحصى في المستقبل ستنتشر الحياة والعقل في أنحاء الكون ربما من الأرض فقط وربما من كواكب أخرى. وسيخضع جزء أكبر من الكون تدريجياً للتحكم الذكي. وستستخدم كمية أكثر وأكثر من المادة لتعالج معلومات، ولتخلق عالماً عقلياً غنياً بدون حدود. لقد خمّن كثير من العلماء أنه مع امتداد الزمن إلى اللانهاية سيظهر ذكاء فائق منتشر وسيصبح أكثر فأكثر شبهاً بالإله، بحيث ***يندمج*** العقل الفائق في المرحلة النهائية بالكون: وسيكون

العقل والكون شيئاً واحداً. هذه رؤيا يطلق عليها أحياناً المبدأ الإنساني النهائي[٥٧]. وكما عبر عنها ديفيد دويتش في ***المبدأ الإنساني النهائي*** أو لو أصبح أي شيء مثل كمية لا متناهية من حوسبة جارية حقيقية – وأعتقد أن هذا ممكن جداً بطريقة أو أخرى– فإن الكون متجه نحو شيء يمكن أن يدعى ***بالمعرفة اللامتناهية***[٥٨].

ولو أشبع الكون بالعقل فإنه سيحقق الشروط الضرورية لمبدأ التشاركية لويلرحيث يكون الكون ***بكامله*** ضمن نطاق تشاركية المراقب. إن الحالة النهائية للكون والتي سينتشر فيها العقل، ستملك القدرة على خلق طرق التطور التي ستؤدي إلى الحالة النهائية ذاتها. وبهذه الطريقة يمكن للكون أن يخلق نفسه وأن يوجّه نفسه نحو مصيره أيضاً. لقد صرح ويلر بأن الانفجار القادم للحياة يفتح الباب لدور شامل لتشاركية المراقب: ليبني في المستقبل ليس جزءاً ثانوياً مما ندعوه ***ماضيه*** – ماضينا وحاضرنا ومستقبلنا – ولكن هذا العالم الفسيح كله[٥٩].

ولذا لدينا الآن جواب **علمي ثالث** للسؤال الذي شكل محورهذا الكتاب: لماذا الكون ملائم للحياة؟ الأول لأن هذا كان مجرد **مصادفة**. والثاني أنه نتيجة **اختيار مراقب** من كون متعدد. والثالث الذي لخصته في هذا الفصل وهو أن الكون صمم **وعيه الذاتي** الخاص به من خلال السببية الراجعة الكمومية أو بآلية فيزيائية أخرى لم تكتشف حتى الآن. لقد رأينا كيف يعالج التفسيران الأولان قضية ملاءمة الكون للحياة ولكنهما يعجزان عن تقديم تفسير كامل لأكبر الأسئلة الكبرى: بشكل رئيس ***لماذا يوجد الكون***؟ إنهما لا يستطيعان الجواب على السؤال النهائي للوجود لأنهما يحتاجان كلاهما إلى نقطة بداية غير قابلة للتفسير – والتي دعوتها مازحاً سلحفاة فائقة حاملة – كي تقبل على أنها شيء ***معطى***. ولكن ماذا عن الطريقة الثالثة؟ هل يمكن لفكرة كون يولّد نفسه ذاتياً أن تمضي أبعد من قضية لماذا الكون صديق للحياة وتوضح السؤال لماذا يوجد الكون على الإطلاق؟

في ٩ كانون الثاني من عام ٢٠٠١ عانى جون ويلر من أزمة قلبية. قال «هذه إشارة». «لدي وقت محدود فقط ولذا فسوف أركزعلى سؤال واحد: ***كيف جاء الوجود؟***»[٦٠] ولسوء الحظ فإن أفكاره عن الكون التشاركي والمبدأ الإنساني النهائي لم تكن على شكل فكرة مصاغة جيداً بقدر ما كان يحب أن يدعوها «فكرة لفكرة». كيف يمكننا أن نأخذ فكرته لفكرة ونكتشف ما الذي يعنيه بكون يفسر نفسه وهو كون يحتوي ضمنه تفسيراً لوجوده؟ نحصل على مؤشر من فكرة ***الدارات العرضية*** الشائعة في قصص الخيال العلمي عن السفر عبر الزمن. وفي قصة نموذجية مثل فيلم ***عودة إلى المستقبل*** أو المسلسل التفزيوني (***الدكتور*** من) يزور مسافر الزمن الماضي ويغير شيئاً. وعلى سبيل المثال يزور الشخصية الرئيسة في الفيلم مارتي ماكفلاي أمه وهي امرأة شابة وينخرط في حياتها العاطفية مما يهدد زواجها من أبيه وبالتالي وجوده اللاحق نفسه. والوصف الأشد قسوة للفكرة نفسها هي عندما يبحث مسافر الزمن عن أمه ويقتلها قبل أن تتمكن من ولادته.

تتمثل جاذبية مثل هذه القصص في أنها تبدو وكأنها تقود إلى معضلة. فالماضي يحدد الحاضر ولذا إذا تغير الماضي فسيتغير الحاضر أيضاً بما في ذلك حوادث تؤثر على مسافر الزمن. لكن المعضلة ليست حتمية إذا أسست حكاية ***متسقة ذاتياً***. خذ نسخة مغايرة لسيناريو قتل الأم حيث يرجع مسافر للزمن خمسين عاماً للوراء ويصادف فتاة شابة على وشك أن تقتل من قبل لص. يتدخل مسافر الزمن وينقذ حياة الفتاة. وتكبر الفتاة لتصبح والدة مسافر الزمن. إن هذه ***الدارة العرضية المتسقة ذاتياً تتضمن تفسيراً دائرياً***: فبقاء الفتاة على قيد الحياة والأمومة تفسران من قبل مسافر الزمن ومسافر الزمن يفسر من قبل أمومة الفتاة له. وتوضيح آخر أكثر تأثيراً هو حين يزور

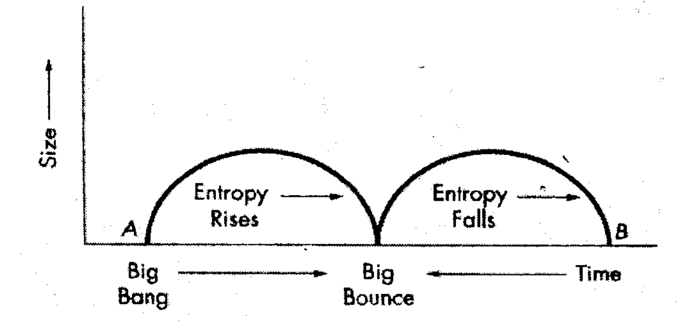
بروفسور ما المستقبل ويقرأ حول نظرية جديدة في مجلة رياضية في ذلك الوقت. ثم يعود بعد ذلك إلى زمانه الأصلي ويخبر طالباً ما عن النظرية حيث يقوم الطالب بعد ذلك بنشرها في مجلة – وهي المجلة نفسها التي عثر البروفسور على النظرية فيها! ومرة أخرى تتضح لنا في هذه الحكاية دارة عرضية: جاءت معرفة البروفسور بالنظرية من الطالب وجاءت معرفة الطالب بالنظرية من الأستاذ. وعلى الرغم من أن مثل هذه الدارات العرضية قد تبدو غريبة إلا أنه ليست هناك معضلة أصيلة تتعلق بها طالما احترم **الاتساق الذاتي**[٦١].

إن السفر عبر الزمن والدارات العرضية ليسا مجرد مواد للخيال العلمي. فنظرية النسبية التي تسمح للزمان أن يلتف تحت تاثير الحركة والثقالة تتنبأ بظروف يمكن فيها للأشياء الفيزيائية بما في ذلك المراقبين أن يلتفوا عائدين إلى الماضي. وجد كيرت غوديل Kurt Godel عام ١٩٤٨ نموذجاً واضحاً لكون يسمح بالسفر عبر الزمان باستخدام نظرية النسبية العامة لآينشتاين، على الرغم من أنه بني على اقتراح غير واقعي وهو أن الكون بكامله يدور. ويظهر نموذج أفضل ***لآلة زمن*** ما يدعى بثقب دودي – وهو نوع من بوابة أو طريق مختصر بين نقاط بعيدة في الفضاء. وفي آلة زمن على شكل ثقب دودي فإن المراقب الذي يعبر ثقب الدودة من أحد الاتجاهات يقفز نحو المستقبل، ويقفز في الاتجاه الآخر نحو الماضي[٦٢].

إن الأكثر إثارة من جسم أو شخص يقوم بزيارة محددة إلى الماضي هو عندما ***يصبح*** الجسم نفسه كما كان في ماضيه على سبيل المثال، جسيم يعود في الزمن إلى الوراء إلى حقبة لم يكن موجوداً قبلها. فهو بعد ذلك سيبقى في مكانه (أي لن ينقل بسرعة «رجوعاً إلى المستقبل» ولكنه ينتظر فقط كأي شيء آخر المستقبل ليأتي إليه) [٦٣]. وفي نشرة تخمينية بعنوان

«هل يمكن للكون أن يخلق نفسه؟» طبق عالما الكون ريتشارد غوت الثالث Richard Gott III ولي كزن لي Li-Xin Li هذه الفكرة على الكون بكامله بتعديل نظرية الأكوان الوليدة بطريقة مثيرة [٦٤]. ففي نظريتهما «ينمو» أحد المواليد ثم يدور رجوعاً في الزمن ليصبح الكون الأم. وفي الحقيقة، فقد قمت بنفسي بنشر نظرية الدارة العرضية الكونية عام ١٩٧٢ [٦٥]. لقد أخذت بالاعتبار احتمال أن يتقلص الكون مرة أخرى ليشكل مضغة كبيرة واضحة والتي ظهر أنها قفزة مرتدة كبيرة. إن الحالة فائقة الكثافة قرب القفزة المرتدة تمحو البنى المادية كلها وتخلط المعلومات من التاريخ السابق كلها (تقنياً فهي حالة من الأنتروبية العظمى). إن الخاصة الجديدة في نموذجي هي أنه في الطور اللاحق من التمدد وعودة التقلص بعكس سهم الزمن (تنخفض الأنتروبي) نسبة للدارة الأولية من التمدد والتقلص. وفي نهاية الدارة ٢ يعود الكون إلى النقطة التي بدأ منها – الحالة التي كان يمتلكها في بداية الدارة ١. يصبح تحديد هذين الزمنين وإغلاق تاريخ الكون في دارة عندئذ قضية بسيطة، مثل نسخة كونية للفيلم ***يوم القنفذ*** Groundhog Day (انظر الشكل ٣٤).

إن الدارات العرضية بداية جيدة لكنها تترك الكثير بدون تفسير، على سبيل المثال قوانين الفيزياء، ولذا فهي تعجز عن تقديم جواب كامل للسؤال «كيف وجد الكون؟». ويمكن للمرء أن يستمر في السؤال «ما تلك الدارة؟». وفي حكاية البروفسور المسافر عبر الزمن الذي يعود من المستقبل بنظرية رياضية جديدة، فإن السؤال «لم تلك النظرية» لم يحل. وبالتأكيد فالنظرية توجد بدون خالق ولذا يمكننا القول بهذا المعنى بأنها «تخلق نفسها». ولكن النظرية ***لا تفسر*** بهذه الطريقة. يمكننا تخيل عدد لا يحصى من الدارات العرضية تحتوي عدداً لا يحصى من نظريات مختلفة.



الشكل ٣٤ كون الدارة العرضية

يصف الشكل كوناً يتمدد من انفجار كبيرA، ومن ثم يتقلص مرة أخرى إلى قفزة كبيرة ثم يخضع لدارة ثانية من التمدد والتقلص، ولكن بعمليات فيزيائية داخله تجري رجوعاً للوراء، كما هو موضح بأسهم اتجاه الزمن الكبيرة تحت المنحني. وعندما تصل الدارة الثانية إلى قضمة كبيرة B، يكون الكون قد عاد إلى حالته الابتدائية A. وبذا يمكن إغلاق الزمان في دارة بتحديد B و A.

وفي سياق علم الكون يمكن لكون يخلق ذاته، أن يترافق مع عدد لامتناه من أكوان أخرى ذاتية التكوين – يمكن أن يكون هناك كون متعدد من أكوان مغلقة عرضياً لكل منها قوانين فيزيائية مختلفة. لذا لا زلنا نصادف مشكلة «القاعدة » – ما الذي يقرر أية أكوان دارة عرضية «نفخت فيها النار» وتوجد حقيقة وأيها تختفي كأكوان محتملة ولكنها ليست موجودة حقيقة؟ (ما لم بالطبع توجد حقيقة أكوان الدارة العرضية المتسقة ذاتياً كلها). ويجب أن تقدم دارة *مفسرة* بشكل مرض تفسيراً كاملاً لكل شيء بما في ذلك قوانين الفيزياء. ويجب أن تخبرنا أيضاً، لماذا كانت تلك القوانين صديقة للحياة. كان هذا بالضبط ما شرع ويلر في تحقيقه عن طريق كونه التشاركي على شكل نظام يولد ذاته مقدماً دارة مغلقة من الوجود (انظر الشكل ٣٥) [٦٦].

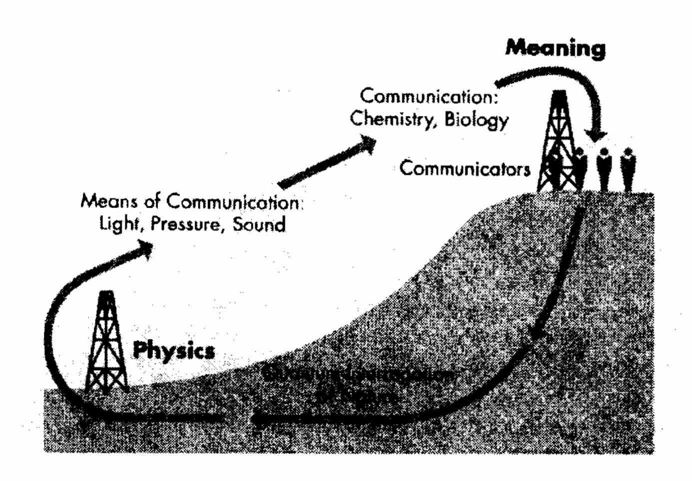
كون يفسر ذاته؟

لا تستطيع دارة عرضية لوحدها تفسير هذا الكون ***بالذات*** لأنها بإقحامها السببية الراجعة عبر دارات زمنية واختيار مؤجل كمومي أو أي من الآليات الفيزيائية الأخرى التي ناقشها الفيزيائيون يمكن للمرء أن يتخيل عدداً غير محدود من الأكوان المحتملة المخلوقة ذاتياً. ولن تشبه الغالبية العظمى منها هذا الكون. فمعظمها لن يمتلك حياة أوربما يمتلك حياة ولكن بدون ملاحظين. ولذا من الواضح أن إقحام الدارات العرضية ليس كافياً بحد ذاته. إن الخاصة المهمة الإضافية في المبدأ التشاركي لويلر هي أن الكون لا يخلق ذاته فقط ولكنه أيضاً يحتوي ملاحظين. ولكنني لا أعتقد أن الملاحظة لوحدها تكفي.

ويأتي دليل على العنصر المفقود من حقيقة أن قوانين الفيزياء وحالات المادة في هذا الكون، تمتلك الخاصة المميزة وهي أنها تسمح لأنظمة فيزيائية (عقول وجينات وحواسب) ببناء تمثيل داخلي للعالم – أي لإجراء حوسبات الحقيقة الافتراضية التي تحاكي الكون الخارجي. وباختصار فهي تحتوي **معرفة** حول العالم. إن هذه الخاصة العاكسة ذاتياً للكون هي بالتأكيد جزء من القصة ولكنها مجرد جزء فقط. وكما أكدت مسبقاً في هذا الفصل فإن نموذج العالم المبني بالعقول بالنسبة ل(بعض) الملاحظين البشر على الأقل، يمضي إلى أبعد من مجرد المعرفة بالعالم إذ أنه يحتوي أيضاً على **التفسير والفهم**. ومن خلال الرياضيات والعلم فنحن لا نلاحظ قصة الطبيعة فقط ولكننا استطعنا – ولو جزئياً إلى الآن أن نلمح مكنون الطبيعة العميق والمخبأ بشكل قوانينها ومبادئها الرياضية المعقدة وأن نحصل على بعض الفهم عن كيفية تركيب الكون وعمله كنظام منسجم. ولذا فكوننا يمتلك قوانين وحالات لا تسمح بتثميل ذاتي فقط وإنما تسمح ***بوعي ذاتي*** أيضاً. لقد أكد كتاب قواعد الكون بملاءمته للحياة وبتسهيله ظهور الوعي في النهاية أن الكون لم يبن وعيه الذاتي فقط: فقد بنى المخطط الكوني أيضاً **فهماً** بالمخطط الكوني.

وقد يعترض على هذا بأن الغالبية العظمى من الناس لا يفهمون المخطط الكوني. وفي الحقيقة يمتلك قلة من الناس فقط أي معرفة حقيقية

بالعلم والرياضيات على الإطلاق. وحتى أكثر العلماء تميزاً لا يدعي أنه يمتلك المعرفة *الكاملة* بالكون. ولكن يجب أن لا نكون متمركزين إنسانياً حول هذا الأمر. وبأخذ النظرة المتفائلة بأن الحياة الذكية ستبقى وستنتشر خلال الكون وستكسب مزيداً من الفهم بأعمال الطبيعة فمن السهل الاعتقاد أن الكون ككل سوف يحقق مع الزمن الفهم الذاتي الكامل ولربما جاء ذلك فقط من خلال الاندماج النهائي للعقل والكون الذي ناقشته في المقطع السابق.



الشكل ٣٥ الدارة المغلقة للوجود: كون تشاركي

تصف «دارة المعنى» لويلر الحقيقة الفيزيائية على أنها تفسر ذاتها أو «تولد ذاتها». تسبب الفيزياء ظهور الأشياء والكائنات العضوية وأخيراً موصلات لمعلومات ذات معنى حول الطبيعة. وفي الجزء الراجع من الدارة يستجوب الملاحظون - المشاركون الطبيعة للحصول على أجزاء من المعلومات (وفي النهاية عبر الميكانيك الكمومي) وبالتالي يساعدون في تشكيل الحقيقة الفيزيائية حتى في الماضي البعيد. ويسبب الملاحظون ظهور الفيزياء حتى في الوقت نفسه الذي تظهر فيه الفيزياء الملاحظين. وبهذه الطريقة يحاول ويلر تجنب مشكلة برج السلاحف بالادعاء بأن العالم الفيزيائي مع ملاحظيه - مشاركيه يفسر أحدهما الآخر.

يبدو من الواضح أن كوناً لايمكنه أن يخلق ذاته وأن يفسرها بدون أن يفهمها أيضاً. وإذا أخذنا استعارة الكون كحاسوب بعين الاعتبار، يمكننا التفكير بحصيلة المشروع العلمي والعقلي على أنه نتاج «برنامج كوني». حيث يتألف الداخل من القوانين كما اختيرت في البداية أو كما ولدت (كيفما حصل ذلك). ومن المعروف جيداً أن العمليات الحاسوبة لا يمكنها أن تقدم معلومات في الناتج أكثر مما هو موجود في الداخل: فالألغوريثم أو العمليات الحسابية تقوم بمعالجة المعلومات فقط ولا تضيف لها شيئاً. خذ هذه الدارة المفسرة ذاتياً «A يفسر B و B يفسر A». لو فسرت الكلمة ***تفسير*** على أنها سلسلة من الخطوات المنطقية (كما في الألغوريثم الحاسوبي) فسيتبع من هذا أنه يجب أن تمتلك A و B المحتوى المعلوماتي نفسه. وأعتقد أنه يمكن استخدام مناقشة مماثلة ليس للمحتوى المعلوماتي ذاته فقط (مجرد عد أحرف)، ولكن لشيء مثل «ذكاء» المعلومات أو «معناها». إنني أدعي شيئاً مثل «معنى خارج، معنى داخل». لو أن الكون يعمل بشيفرة كونية ذكية ولو عزي وجود الشيفرة إلى دارة مفسرة ومتسقة ذاتياً فلابد أن تكون حالة الكون في مرحلة ما من تطوره ذكية مثل القوانين المؤسسة له. ومن الواضح أن الكون لا يمكن أن يكون مفسراً ذاتياً بدون أن يمتلك **القدرة** على تفسير ذاته[٦٧]. وإذا كان لا بد من تفسير كامل للكون كدارة فيتوجب على الكون أن يعلم وأن ***يفهم*** القوانين المسؤول عنها من أجل خلق هذه القوانين. كيف يمكن أن يكون الأمر شيئاً آخر غير هذا؟

وجود مفسر؟

بعض الأسئلة البارزة

لخصت في هذا الفصل الأخير أساس نظرية علمية حول الوجود تحاول تجنب اللجوء إلى «سلحفاة فائقة» على هيئة قوانين سامية غير قابلة للتحول يجب القبول بها عن طريق الإيمان فقط. وفيما إذا كان من الممكن

إكمال مثل هذا المشروع أم لا متروك للباحثين في المستقبل فهناك عدد من الأسئلة غير المجابة يجب التصدي لها. من السهل القول بأن الكون صمم وعيه الذاتي من خلال نوع من أنواع التوليد الذاتي ولكن كيف تم ذلك بالضبط؟ وبأية آلية فيزيائية؟ بينت أهمية استبدال فكرة القوانين الأفلاطونية الجامدة بأشباه قوانين ظهرت أو تبلورت من خليط الانفجار الكبير، ولكن ما العملية التي بلورتها بالضبط وكيف تم الاختيار – أو هل هو عشوائي مثل كسر التناظر التلقائي؟ كيف يمكن للمرء أن يتجنب «**قانون** اختيار القانون» الذي سيعيدنا إلى معضلة السلاحف الفائقة؟ يجب أن تكون الأجوبة ضمن قيود الاتساق الذاتي. وفي مقالته «الحوسبة والفيزياء دارة المعنى لويلر؟» بين رولف لانداور هذه النقطة بوضوح: الحوسبة عملية فيزيائية.... والقانون الفيزيائي بدوره يتألف من ألغوريثمات لمعالجة المعلومات. ولذا يجب أن تتسق الصيغة النهائية لقوانين الفيزياء مع القيود على التنفيذ الفيزيائي للألغوريثمات، والتي تعتمد بدورها على القانون الفيزيائي[٦٨]. وبعبارات أخرى تحدد القوانين ما الذي يمكن حسابه وتقرر الحوسبة القوانين. والسؤال المفتوح هو فيما إذا كان هذا المتطلب من الاتساق الذاتي كافياً لمعرفة الشكل الحقيقي للقوانين. هل هناك دارة متسقة ذاتياً واحدة فقط أم عدد منها؟ هل هناك عدد لا نهائي منها؟

اعتمد لانداور وويلر بشدة على الميكانيك الكمومي في تحليلاتهما. وعلى الرغم من أن الميكانيك الكمومي نظرية ناجحة جداً في التطبيق إلا أن تفسيرها يبقى مشوشاً ولا يزال يناقش بحماس. وبمحاولته بناء سيناريو الكون التشاركي تشبث ويلر بالتفسير الأصلي الذي يدعى تفسير كوبنهاغن للميكانيك الكمومي ربما لأنه تعاون كشاب مع مصممها الدانيماركي نيلز بوهر. وفي التفسير الكوبنهاغاني للنظرية يلعب الملاحظون دوراً أساسياً. (انظر الصندوق ٨). وعلى ذلك الأساس ادعى ويلر أن كوناً يحتوي ملاحظين – مشاركين هو الذي يمكن أن يوجد فقط – وهذه هي نسخة من المبدأ الإنساني القوي.

لكن معظم علماء الكون يفضلون الكون المتعدد الكمومي الذي يصف مجموعة لا نهائية من أكوان متوازية موجودة فعلاً على التفسير الكوبنهاغاني. وسيحتوي بعض هذه الأكوان أو «الفروع» من الحالة الكمومية على حياة وبعضها الآخر لا. ولا تسمح قواعد الميكانيك الكمومي لك أن تقطع «الأغصان» الميتة من الحالة الكمومية وتطرحها في سلة مهملات كونية. لذا فالثمن الذي تدفعه لوجود أكوان بحياة هو وجود عدد كبير من الأكوان الميتة والتي هي نوع من الكائنات الكونية الداعمة (كورس) تمر بدون أن تلاحظ ولكنها تساهم بفاعلية في قدرات الكون على تشجيع الحياة. ولذا لو وسع المرء نظرته للكون لتشمل الكون المتعدد الكمومي فسيكون هناك الكثير من الأمكنة الحقيقية الضرورية بشكل غير مباشر لوجودنا. وبهذا الصدد فهي تماثل ملاحظة أن الكون الذي نراه يحتوي فجوات هائلة من الفضاء الميت والفارغ وإذا لم يكن كذلك فإن الكون سيكون إما صغيراً جداً أو حاراً جداً أو كليهما ليسمح بوجود حياة على كواكب مثل الأرض.

والقضية الأخرى هي كيف يتعلق كون مولد ذاتياً بالكون المتعدد الذي شرح في الفصول السابقة من هذا الكتاب المبني على أفكار من نظرية الأوتار والتضخم. في نظرية التضخم الأبدي لم يعد الانفجار الكبير المصدرالنهائي للأشياء المادية كلها. وبدلاً من ذلك فهو بداية تاريخ كوننا«الفقاعي» أو الجيبي المحشو ضمن فضاء فائق متضخم للأبد. ولذا فقد يكون من الأفضل تطوير نظرية لكون متعدد مولد ذاتياً بدلاً من كون وحيد مولد ذاتياً. وهنا قد يكون العمل الحديث لستيفان هاوكنغ وتوماس هيرزوغ Thomas Herzog مهماً[٦٩]. فهما يعتبران أيضاً في سياق الكونية الكمومية موضوع الرجوع في الزمن للملاحظات الكمومية: إن ما نختار ملاحظته اليوم يساعد في تشكيل طبيعة الكون في الماضي البعيد. ويتردد هاوكنغ وهيرزوغ في قبول وجود كون متعدد يتطور مع الزمن من حالة كمومية سابقة محددة جيداً كما في نموذج التضخم الأبدي على سبيل المثال على أنه أمر«معطى». وبدلاً من ذلك فهما يفضلان البدء من الحاضر وتشكيل المسارات الكمومية البديلة

السابقة كلها – التواريخ العديدة المختلفة المسموح بها ضمن عدم التأكد الكمومي – التي تقود إليها. وبالطبع سيختار الملاحظون تلك التواريخ التي تتسق مع الحياة والملاحظين فقط حتى لو كانت مثل تلك التواريخ نادرة بين قائمة الاحتمالات كلها.

وتتعلق مجموعة أخرى من الأسئلة بالمبدأ الإنساني النهائي وبالمستقبل البعيد للكون. لقد رسمت في هذا الفصل صورة للحياة والعقل تمتد لتشبع الكون على مدى فترة هائلة من الزمن. ولكن هل يتسق هذا مع قوانين الفيزياء؟ تبين أنه من الممكن للحياة والعقل في نوع محدد من النماذج الكونية فقط أن يعمّا الكون بكامله. وهناك قضية أخرى ذات صلة هي فيما إذا كان الكون قادراً على معالجة كمية غير محدودة من المعلومات. ويتعلق الجواب بكيفية تغير معدل تمدد الكون في المستقبل. شرحت في الفصل السادس كيف أن اكتشاف الطاقة المعتمة يوحي بأن أفقاً كونياً قد يتشكل وأن الحالة النهائية للكون ستكون الفراغ المعتم. وإذا كان هذا تنبؤاً صحيحاً فكما يظهر تحليل أدق لا يمكن للكون الملاحظ أن يحتوي سوى كمية محدودة فقط من المعلومات. وفي الحقيقة سيكون آلة بحالة محدودة. ويمكن لنظام يمكنه الوجود بعدد محدود فقط من الحالات الفيزيائية أن يدعم عدداً محدوداً فقط من الحالات العقلية: وسيتمتع العقل الفائق الشبيه بالإله بعدد محدود فقط من الخبرات والأفكار والتبصرات وغيرها، وسيكون محكوماً بتكرارها مرة بعد مرة. ويجد العديد من الناس هذا الأمر مثيراً للكآبة (وهو بالطبع لا يشبه أبداً الفكرة التقليدية لكائن إلهي غير محدود). وبالمقابل فإن نظاماً غير محدود لمعالجة المعلومات سيكون قادراً على اختبار الحداثة المستمرة. ومن وجهة النظر العلمية فالقضية ليست مفتوحة أو مغلقة بأي شكل لأنه من غير الواضح فيما إذا كانت الطاقة المعتمة ستبقى ثابتة مع الزمن. إذا تناقصت هذه الطاقة إلى الصفر مهما كان ذلك بطيئاً، فسينمو حجم الأفق وستنمو معه قدرة الكون على معالجة المعلومات. وبينما سيبقى الكون في أية لحظة يحتوي على كمية محدودة من المعلومات فلن يكون هناك حد لحجم المعلومات في النهاية.

لذا كيف جاء الوجود؟ في الختام من المحتمل أن المقاربات التي ناقشتها كلها ليست مرضية. وفي الحقيقة **تبدو لي بعد أن راجعتها كلها، إما حمقاء أو ناقصة بشكل خطير**: كون وحيد يسمح صدفة بوجود الحياة، وعدد هائل من أكوان متوازية بديلة توجد بلا سبب، وإله موجود مسبقاً يفسر ذاته بذاته، أو كون يخلق ذاته ويفسر ذاته ويفهم ذاته مع ملاحظين، يوحي بسببية راجعة أو غائية. **ربما نكون قد وصلنا إلى طريق مسدود محكوم بمحدودية الذكاء البشري**. لقد بدأت هذا الكتاب بالقول بأن الدين كان أول محاولة منظمة عظيمة لتفسير الوجود كله وأن العلم هو المحاولة العظيمة الثانية. ويستمد العلم والدين كلاهما منهجيتيهما من نماذج قديمة من التفكير شحذت عبر آلاف السنين من الضغوط التطورية والثقافية. إن عقولنا هي نتاج الجينات والبيئة[٧٠]. ونحن الآن أحرار من التطور الداروينى وقادرون على خلق عوالمنا الحقيقية والافتراضية ويمكن لتقانتنا في معالجة المعلومات أن تأخذنا إلى مجالات من الذكاء لم يسبق للعقل البشري أن زارها من قبل، وقد تتبخر تلك الأسئلة العتيقة المتعلقة بالوجود، وتبدو على أنها ليست أكثر من تسليات لكائنات حية حصرت ضمن نطاق عقلي محدود جاء من صدفة تطورية. وقد تزاح بعيداً هذه الأشياء من الآلهة والقوانين والمكان والزمان والمادة والهدف والتصميم والعقلانية والعبثية والمعنى والسر **كلها وتستبدل باكتشافات لم يتم تخيلها من قبل**.

النقاط الرئيسة :

- تصطدم التفاسير التقليدية بمشكلة برج السلاحف. لقد اقترح بعض العلماء والفلاسفة دارات مفسرة متسقة ذاتياً بدلاً من ذلك.
- يرفض بعض العلماء النظرة التقليدية الأفلاطونية عن القوانين الفيزيائية (أنها علاقات رياضية مثالية ودقيقة بشكل لا متناه **تسمو** على العالم الفيزيائي)

- قد لا تعمل قوانين الفيزياء بدقة لا متناهية لأن للكون قدرة حاسوبية محدودة
- الغائية أو السببية الراجعة مرفوضة من العلم التقليدي. وفكرة كون قدر له أن ينشئ الحياة والملاحظين هي بوضوح فكرة غائية.
- يمكن للسببية الراجعة أن تقدم طريقاً شبه محترم علمياً نحو الغائية.
- تصف تجربة الاختيار المؤجل لويلر طريقة يساعد الملاحظون فيها **اليوم** على تشكيل طبيعة الحقيقة في الماضي دون القدرة على إرسال معلومات رجوعاً في الزمن.
- إذا كان الكون مفسراً ذاتياً فلا بد أن يطور كائنات قادرة على تفسيره.



الخاتمة

تفسيرات نهائية

كوبلستون: لكن فكرتك العامة عندئذ يا لورد راسل هي أنه ليس مشروعاً مجرد السؤال عن سبب وجود العالم؟

راسل: نعم هذا هو موقفي.

كوبلستون: إذا كان سؤالاً لا يعني لك شيئاً فمن الصعب جداً مناقشته، أليس كذلك؟

راسل: نعم إنه صعب جداً، ماذا تقول – لو تحولنا إلى موضوع آخر؟

مناظرة بين الأب ف، س، كوبلستون وبرتراند راسل

من المحتم أن أي نقاش يحاول الإمساك بالأسئلة النهائية حول الوجود سينزلق في النهاية إلى أبعد من المنطقة المريحة لمعظم العلماء وسيدخل في حقل من التخمين يبدو لهم غريباً. لقد فكرت بأن من المساعد الختام بتلخيص المؤيدين والمعارضين للاقتراحات الرئيسة المختلفة التي تفحصتها في هذا الكتاب. ولكل منها علماء وفلاسفة مميزون مستعدون للدفاع عنها.

A - الكون العبثي

ربما كان هذا هو موقف **الغالبية** من العلماء. وبحسب وجهة النظرهذه فالكون هو على ما هو عليه بشكل سري وقد وجدت الحياة فيه صدفة. ربما

أمكن أن يكون شيئاً آخر ولكن ما نراه هو ما نحصل عليه. ولو كان الأمر مختلفاً لما كنا هنا لنتجادل حوله. قد يمتلك الكون، أو قد لا يمتلك وحدة عميقة مؤسسة له، ولكن ليس هناك تصميم أو هدف أو معنى له على الإطلاق – على الأقل لا شيء له معنى بالنسبة لنا. ليس هناك إله ولا مصمم ولا مبدأ غائي ولا مصير. الحياة بصورة عامة والبشر بصورة خاصة زخارف لا قيمة لها في كون فسيح لا معنى له ووجوده سر لا قرار له.

ميزة هذا الرأي هي أنه من السهل اعتناقه – فهو سهل إلى الحد الذي يجعله بمثابة هروب. فإذا لم يكن هناك معنى أو مخطط أعمق فلا معنى للبحث عنهما. وبشكل خاص فليس هناك معنى للبحث عن صلات بين الحياة والعقل والكون: فلا توجد بحسب هذه النظرية صلة بينها عدا الصلة التافهة بأن الحياة نشأت من الكون وأن العقل نشأ من الحياة **بالصدفة فقط**. إن عيب فكرة الكون العبثي هو أنه لا يمكن بواسطتها توقع أن يكتشف العلم مستويات جديدة وعميقة من النظام أو ارتباطات أخرى بين الظواهر الطبيعية. وإذا لم يكن هناك مخطط متسق للأشياء فإن هذا سيجعل نجاح المشروع العلمي حتى الآن غير مفهوم تماماً وسيستمر العلم **فقط** بإيمان غير مبرر بأن الطرق المستخدمة حتى الآن ستستمر باكتشاف نظام موجود لا معنى له وراء المظهرالسطحي للأشياء. وتعزو هذه النظرة حقيقة وجود الحياة ضد الاحتمالات الكبيرة على ما يبدو إلى مصادفة غير عادية. **إن اللجوء إلى الحظ والصدفة مثل اللجوء إلى المعجزات ليس تفسيراً مرضياً جداً**. ويجب القبول بأن الحياة طوّرت العقل بمصادفة كبيرة أخرى في التاريخ. وبالمثل تستبعد حقيقة قدرة بعض العقول على فهم الكون على أنها صدفة أخرى أو أنها تتعلق بأفكار غامضة وهي أن العقول تطورت لتدرك الأشكال وأن – مرة أخرى بدون سبب – الأشكال العميقة للفيزياء وعلم الكون تشبه الأشكال في العالم اليومي على كوكبنا (وفي الحقيقة فهي لا تشبهها في معظم الحالات).

B - الكون الوحيد

تقول وجهة النظر هذه بأن هناك وحدة عميقة مؤسسة في الفيزياء وأن نظرية رياضية «موجودة هناك» ستقوم بجمع الخيوط كلها فقط لو كنا أذكياء بما يكفي لصياغتها. ويمكن لهذه النظرية أن تكون **نظرية الأوتار/ M** أو شيئاً آخر. ومهما كانت يظهر أنها مبنية على مبدأ رياضي أساسي لا يترك مجالاً للتعديل. وستتبع قوانين الفيزياء كلها ومتحولات النموذج القياسي كلها والثوابت المختلفة للطبيعة ووجود الزمان والمكان بثلاثة أبعاد وببعد واحد على التوالي وأصل الكون والميكانيك الكمومي والزمكان النسبي وخصائصه العرضية – هذه المجموعة كلها – **بشكل محتم وواضح هذه النظرية النهائية الموحدة. ستكون حقاً نظرية لكل شيء.**

وفي النسخة المتطرفة لهذه النظرية سمّها B1 لا بد أن يوجد الكون بالضرورة كما هو ولم يكن من الممكن أن يكون شيئاً آخر. هناك **وصف وحيد متسق ذاتياً** للحقيقة الفيزيائية. وإذا كان هناك إله فليس له ما يعمله سوى أن «بنفخ النار في المعادلات» لأنه لا توجد خيارات ليصنعها أو متحولات حرة أو مجال للتصميم. وفي النسخة الأقل تطرفاً لهذا الموقف B2 ربما كان الكون شيئاً مختلفاً: ربما كانت هناك نظريات موحدة عدة تصف حقائق مختلفة متسقة ذاتياً، ولكن النظرية المطلوبة هي تلك التي **تعمل بنجاح** لسبب لا يمكن معرفته. وإلى هذا الحد فربما كان وجود هذا الكون بالذات سراً أوعبثاً لأنه لا يوجد سبب لكون هذه الحقيقة المتسقة ذاتياً بدلاً من تلك هي «المطلوبة». ويبدو أن وجهة النظر هذه B2 مقبولة من معظم الفيزيائيين العاملين على برنامج التوحيد والنواحي الأخرى في الفيزياء الأساسية مثل فيزياء الطاقة العالية.

تتمثل ميزة نظرية الكون الوحيد في أنها تحمل أمل الفهم الكامل للوجود الفيزيائي. فلا شيء سيترك بدون تفسير ولا شيء ذو طبيعة أساسية اعتباطي أو نتاج للصدفة أو يحتاج إلى تعديل من قبل مصمم غير معروف. ولو كان

هناك كون وحيد فقط B1 فستمثل النظرية النهائية الانتصار الأعظم للذكاء البشري. وسنعرف في النهاية سبب الوجود: **يجب** أن يكون كما هو عليه الآن (أو أن لا يوجد على الإطلاق). إن عيب B2 هو أنه على الرغم من أن نظرية موحدة بدون متحولات حرة تقوم بالمهمة ستكون في متناولنا، إلا أن السؤال النهائي «لماذا تلك النظرية بالذات؟» سيبقى بدون تفسير. أعتقد أن معظم العلماء سيقتنعون بذلك – بعدم معرفة الجواب على السؤال النهائي عن الوجود. إنهم سيدّعون «إنه سر!» ومن ثم سينتقلون إلى شيء آخر. إن العيب في B1 و B2 كليهما هو استبعاد صداقة الكون للحياة على أنها صدفة غير هامة. ولأن النظرية تثبت كل شيء فمن الحظ الجيد غير المتوقع أن يبدو هذا التثبيت متسقاً مع الحياة والعقل (ناهيك عن الفهم).

C – الكون المتعدد

يدعم القليل من العلماء الآن على الرغم من أن عددهم ينمو نظرية الكون المتعدد بإحدى النسخ أو بأخرى. وتشير النماذج الكونية الحديثة بقوة إلى وجود تعدد في الحقول الكونية (على سبيل المثال أكوان فقاعية وأكوان جيبية ومناطق كونية مبقعة) كخاصة طبيعية وذاتية، حيث يشكل الانفجار الكبير الذي ولّد كوننا واحداً فقط من عدد (ربما لا نهائي) من الانفجارات التي ولدت «أكواناً» متعددة. وإضافة لذلك تتنبأ العديد من النظريات التي تحاول توحيد الفيزياء بنوع من الإختلاف في بعض ثوابت الطبيعة على الأقل – متحولات تدخل في النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات. وفي بعض هذه النظريات هناك اختلاف في شكل قوانين فيزياء الطاقة المنخفضة أيضاً فاسحاً الطريق أمامها كي تختلف من حقل كوني لآخر أثناء تبرد الأكوان من أصولها المنصهرة. ويبدو أن النموذج الموحد المفضل أو النماذج المعروفة باسم نظرية الأوتار/ M، تتضمن «**منظراً**» من أكوان منخفضة الطاقة محتملة ومتعددة جداً بدون شيء واضح يميز كوناً معيناً.

إن ميزة نظرية الكون المتعدد هي أنها تقدم تفسيراً سهلاً وطبيعياً لتناغم الكون مع الحياة بصورة عفوية: فالملاحظون يوجدون فقط في تلك الأكوان التي تكون فيها الأشياء كمعامل غولديلوك Goldilock «صحيحة بالضبط» صدفة. أما الأكوان المعادية للحياة فتنتشر بشكل كاسح ولكنها بالتعريف عقيمة ولذا فهي تمر دون أن تلحظ. إن عيب نظرية الكون المتعدد هو أنها تقحم فيضاً من الكيانات التي لا يمكن ملاحظة معظمها مطلقاً ولو من حيث المبدأ. ويصدم هذا الانتشار الكاسح العديد من الناس على أنه طريقة مبالغ فيها لتفسير صداقة الكون للحياة. ومن الصعب جداً أيضاً اختبار هذه النظرية. ويعامل الملاحظون ببساطة على أنهم وسطاء الاختيار وبذا يبقى الإدراك الغامض للكون (على العقل البشري على الأقل) بدون تفسير. ولا يقدّم الكون المتعدد وصفاً كاملاً للوجود لأنه لا يزال يتطلب الكثير من الفيزياء غير المفسرة وال «الملائمة» جداً لإنجاحه. وعلى سبيل المثال يجب أن تكون هناك آلية توليد أكوان وميكانيك كمومي عليه أن يصف كل شيء وقوانين موحدة من نوع ما (مثل تلك التي تنشأ عن نظرية الأوتار/ M) يجب القبول بها على أنها «**معطاة**». ولذا فالكون المتعدد وعلى الأقل بهذا الشكل «المعتدل» يفتقر إلى قوة ال B1 (الكون الوحيد) على الرغم من أنه ليس أسوأ من B2. ولا زالت هناك حاجة لإجراء نوع ما من الاختيار الذكي ليس لكون وإنما لكون متعدد. ولذا فلم ترحل مشكلة الوجود بعيداً وإنما أزيحت مرحلة واحدة فقط. .

ويتم تجنب النقد الأخير بنموذج الكون المتعدد الأقصى المقترح من قبل ماكس تيغمارك حيث توجد فعلاً العوالم الممكنة كلها بأي وصف وليس تلك التي تأتي من نموذج رياضي معين مثل نظرية الأوتار/ M والتضخم. إن ميزة الكون المتعدد الأقصى هي أنه يشرح كل شيء لأنه يحتوي على كل شيء. ويمتلك هذا فضيلة البساطة و«الطبيعية». ولكن العيب الكبير هو الظهور على أنه غبي نوعاً ما. فالنظرية التي يمكنها أن تفسّر كل شيء مهما

كان هذا الشيء لا تفسر في الحقيقة شيئاً. ولكن كوناً متعدداً يحتوي أقل من كل شيء يعني وجود قاعدة تفصل، بين ما يوجد وبين ما هو محتمل ولكنه لا يوجد. غير أن القاعدة تبقى بدون تفسير. العيب الآخر في نظريات الكون المتعدد كلها هو أنها تبدو وكأنها تؤدي إلى التنبؤ بأكوان **ملفقة** (على الأقل على أساس حسابي بسيط) تتفوق عددياً على الأكوان الحقيقية مما يقود إلى الاستنتاج الغريب وهو أن الكون الملاحظ ربما كان ملفقاً. وبالتالي لا يمكن أخذ فيزيائه على محمل الجد على أية حال.

ينتقد مؤيدو الكون المتعدد من جانبين. فالمتدينون يعتبرون النظرية محاولة محمومة لاستبعاد أي نوع من الإله «هي الملاذ الأخير بالنسبة للملحد اليائس» بحسب عبارات الفيلسوف نيل مانسون Neil Manson [٢]. ومن جهة أخرى يرى مثاليو نظرية الأوتار/M أنها تتخلى عن المسؤولية المهنية في وجه الصعوبات الرياضية.

D – التصميم الذكي

تتمثل نظرة الديانات التوحيدية التقليدية إلى الكون في أن الله خلقه وصممه ليكون ملائماً الحياة، لأن نشوء الكائنات العاقلة جزء من خطة الله. ولهذه النظرة ميزة وهي أنها تقدم تفسيراً بسيطاً للتناغم الكوني الجيد ولصداقة الكون للحياة وأنها تفسير «طبيعي» لأولئك الذين قرروا مسبقاً بناء على أسس أخرى أن الله موجود. وهي أيضاً تعزو صفات الكون التي توحي بالتصميم إلى وجود مصمم مما يجعلها تبدو معقولة جداً. لكنها مع ذلك تعاني من العيب الواضح **وهي أنها توقف الجدل**. فالتصريح البسيط «الله فعل ذلك» لا يقدم تفسيراً حقيقياً لأي شيء ما لم يستطع المرء أن يقول أيضاً كيف فعل الله ذلك ولماذا فعله. وهي أيضاً تصطدم بمشكلة من صمم المصمم ما لم تؤسس فكرة الكائن اللازم بذاته بقوة وأن يبرهن على أنها شكل آخر من كون لازم بذاته وأنها تتفوق عليه (بمفهوم B1).

المشكلة الرئيسة الأخرى بالنسبة للتصميم الذكي هي أن هوية المصمم ليست بحاجة لأن يكون لها أية علاقة على الإطلاق بإله الديانات التوحيدية التقليدية. فيمكن ل «وكالة التصميم» هذه أن تكون لجنة من الآلهة على سبيل المثال. ويمكن أيضاً أن يكون المصمم كائناً طبيعياً أو كائنات طبيعية مثل عقل فائق نتج بالتطور أو حضارة فائقة وجدت في كون سابق أو في منطقة أخرى من كوننا قامت بخلق كوننا مستخدمة تقانتها الفائقة. ويمكن للمصمم أن يكون أيضاً نوعاً من أنواع الحواسب الفائقة التي تحاكي هذا الكون. ولذا فإن اللجوء إلى عقل فائق كسلحفاة فائقة حاملة أمر محفوف بالمشاكل.

E – مبدأ الحياة

تنشأ صداقة الكون للحياة في هذه النظرية من مبدأ أو قانون شامل يقيّد تطور الكون بحيث يتجه في منحى الحياة والعقل. ولها ميزة وهي «أخذ الحياة بجد» معتبرة إياها ليس كجائزة غير مفسرة إطلاقاً كما في A و B وليست مجرد اختيار سلبي كما في C. وهي تتجنب شعور التقسيم التعسفي ل D مستبدلة إلهاً مؤثراً (طبيعياً أو فوق طبيعي) بمبدأ هادف أكثر عمقاً. وباختصار فهي تدخل التصميم في أعمال الكون على مستوى أساسي (بدلاً من مستوى عرضي) دون اللجوء إلى وسيط غير مفسر سابق للوجود لإدخال هذا التصبميم على شكل معجزة.

إن العيب في هذه النظرية هو أن الغائية تمثل قطيعة حتمية مع التفكير العلمي التقليدي الذي يعتبر التطور الموجه نحو غاية ما مضاداً للعلم ويسأل النقاد كيف يمكن للكون أن« يعرف» حول الحياة حتى يتدبر ظهورها اللاحق. ويثير هذا مسألة السببية في كيفية معاملة مبدأ حياة إضافي ضمن نظام من القوانين الفيزيائية التي افترض مسبقاً أنها تقوم بوظيفة تفسير كل شيء وأيضاً غرابة السببية الراجعة بالنسبة للزمن أو

شيء راجع بالنسبة للزمن. وكما شرحت فقد لا تشكل هذه عيوباً قاتلة ولكنها بالتأكيد تثير قلق العلماء. ويعتبر العلماء الملحدون أي حديث عن التوجيه على أنه مجرد غطاء لفكرة التوجيه الإلهي التي تعود لتتسرب إلى العلم، حتى ولو كانت بعيدة جداً عن فكرة الإله في الديانات التوحيدية. ويعاني مبدأ الحياة أيضاً من مشكلة التركيز على الحياة والعقل على أنهما «غاية» التطور الكوني بدون تفسير السبب. وعلى هذا المنوال يستطيع المرء أن يسمي أية حالة مميزة ومعقدة وأن يحيط نشؤوها بمبدا غائي. ولذا يجب قبول مبدأ الحياة نفسه على أنه حقيقة مخلوقة مع قوانين الفيزياء وأنه موجود بدون أي تفسير. ويمكن إزالة هذا الاعتراض بسهولة إذا مزج المرء بين المبدأ الغائي وبين الكون المتعدد لأن الأكوان التي تحتفظ بمبدأ حياة مبني في قوانينها هي فقط التي لها حظ بأن تلاحظ. ولكن إقحام الكون المتعدد يقوم فقط بتحويل مشكلة من أين أتى مبدأ الحياة إلى مشكلة من أين أتى الكون المتعدد.

F – كون يفسر ذاته

تصطدم الخيارات السابقة كلها بمعضلة برج السلاحف ماعدا B1 وهي نسخة تيغمارك من الكون المتعدد (تحت C) ووجود إله لازم بذاته (تحت D). يجب القبول بشيء بدون تفسير على أنه « معطى» ومن ثم بناء بقية المخطط التفسيري على هذا الأساس الاعتباطي. إن إحدى الطرق لتجنب هذا المطب هي اللجوء إلى دارة تفسيرية أو عرضية مغلقة. وعملياً يفسّر الكون (أو الكون المتعدد – لأن النظرية يمكن لها أن تعمل على المستويين) نفسه. وحتى أن هناك نماذج تتضمن دارات عرضية أو سببية راجعة بالنسبة للزمن بحيث يخلق الكون ذاته. إن ميزة مثل هذا المخطط هي أنه مستقل ذاتياً ويتجنب التسلسل اللانهائي لبرج السلاحف ويتجنب أيضاً الاعتقاد الغيبي المتعلق بوجود سلحفاة فائقة حاملة. لكن العيب هو أننا مازلنا لا نعرف لماذا **هذا الكون بالذات** – لماذا هذا النظام الذاتي التفسير والذاتي الخلق – هو النظام

الموجود مقارنة بكل المخططات المفسرة ذاتياً الأخرى. ولربما كانت المخططات المفسرة ذاتياً **كلها** موجودة، ولكن تلك التي تشبه كوننا هي فقط التي تلاحظ لأنها تتسق مع وجود الحياة – وهذا نوع آخر من نظرية الكون المتعدد. أو الأفضل من ذلك ربما كان الوجود شيئاً لا يمنح من الخارج ب «نفخ النار» في إمكانية ما من قبل وسيط غير مفسر (أي خالق وجود أسمى) ولكنه شيء مفعّل ذاتياً أيضاً. اقترحت سابقاً بأن دارات متسقة ذاتياً قادرة على فهم نفسها هي فقط قادرة على أن تخلق نفسها ولذا فتلك الأكوان التي توجد فيها الحياة والعقل (أو على الأقل إمكانية وجودهما) هي التي توجد فعلاً.

G – الكون الملفق

نحن نعيش في تمثيل وما نعتبره العالم الحقيقي هو عرض لحقيقة افتراضية ملفقة جيداً. وهذا هو نوع آخر من سيناريو التصميم الذكي ولكنه مطور ليناسب العصر المعلوماتي. وتتمتع هذه النظرية بمزايا الاختلاق – السهل نفسه الموجود في نظرية التصميم الذكي ولكنها تمتلك العيب المميز في هدم البحث العلمي. إذا كان الكون مجرد تلفيق فلماذا كل هذا العناء في الكشف عن طريقة عمله؟

H – لا شيء مما سبق

هل تركت شيئاً؟

إن ميولي كما سيتضح هي في الاتجاه E و F، على الرغم من وجود الكثير من التفاصيل التي لا بد من حلها. إنني أعتبر الحياة و العقل والتصميم بشكل جدي **وأعترف بأن الكون على الأقل يبدو كما لو أنه صمم بدرجة عالية من الذكاء.** ولا يمكنني أن أقبل هذه الخصائص على أنها حزمة من المعجزات التي صدف أنها وجدت بدون سبب. يبدو لي أن هناك مخططاً أصيلاً للأشياء – فالكون هو «حول» شيء. ولكنني أيضاً لست مرتاحاً لفكرة

إلقاء المسائل كلها في حضن إله أو التخلي عن التفكير المستمر والتصريح بأن الوجود هو في نهاية المطاف سرمغلق وكثيراً ما يناقش بأن العلم هو أو يجب أن يكون بلا تحيز قيمي. وبالتأكيد فالعلم الذي يجرى بشكل صحيح هو مجال الاستفسار البشري الأقل تأثراً بالتحيز المسبق وبالعقيدة. **لكن العلماء (بمن فيهم أنا) سيصوغون في النهاية آراءاً مستمدة من نظرة عالمية أشمل تتضمن عناصر شخصية وثقافية وحتى دينية.** وسينتقد الكثير من العلماء ميولي نحو E/F على أنها شبه دينية. إن حقيقة أنني اعتبر العقل البشري، وقدرتنا الفائقة على فهم العالم من خلال العلم والرياضيات على أنهما حقيقة ذات أهمية أساسية تفصح – كما سيدعون – عن حنين لنظرة عالمية مقدسة يحتل فيها الجنس البشري مكانة مميزة. هذا بالرغم من أنني لا أعتقد أن الجنس البشري هو أكثر من ناتج ثانوي عرضي لعمليات طبيعية عشوائية. ومع ذلك فإنني أعتقد أن الحياة والعقل محفوران بعمق في نسيج الكون ربما من خلال مبدأ حياة شبحي أو نصف ملاحظ، وإذا كنت أميناً يجب على أن **أعترف أن نقطة البداية هذه هي شيء أشعره بقلبي أكثر من عقلي. ولذا فربما كان هذا نوعاً من الاعتقاد الديني.**

وسيعتبر الناس من التيار العقائدي الديني النظرية D على أنها حقيقة واضحة بذاتها ويرفضون محاولتي في المضي أبعد من الإله التقليدي على أنها إشارة على أنني خضعت لتأثير **العلمية** scientism . وبالمقابل فلن يجد أولئك العلماء الذين يأملون بحماس ب B غضاضة في القول بأنهم ملتزمون بشكل من أشكال العقائد. إنني لا أغبط الموحدين فرصتهم في الوصول إلى التوحيد الحقيقي إذ إنها لن تكون مجرد أعظم نظرية علمية في الأزمان كلها فقط ولكنها ستكون النظرية التي ستنهي كل نظرية أخرى. ومع ذلك فإن عداء بعضهم ل C (الكون المتعدد) و D و E و F يحمل دلائل الدعاية العلمية الزائدة. وهناك ايضاً مجموعة لابأس بها من العلماء الذين ربما كرد فعل على التركيز على الإنسان من قبل الدين التقليدي أو بدافع السخط على

وحشية البشرية وتدميرها للبيئة ترغب في التقليل من أهمية الإنسان أو محوها، ومن أهمية الصفات البشرية كالذكاء والفهم. وبالنسبة لهؤلاء العلماء فإن اي اقتراح عن ميل غائي أو تطور تقدمي نحو الإدراك أو حتى نحو تعقيد أكثر هو اقتراح ممجوج. ولكن حججهم مع ذلك تحمل أيضاً نغمات عقائدية لا تخفى. وبهذا الصدد فهم لا يختلفون إلا قليلاً جداً عن أولئك الذين قرروا مسبقاً هذا التفسير الديني أو ذاك للطبيعة ومن ثم حوروا الحقائق العلمية لتناسب عقائدهم المسبقة. **ويجب الاعتراف أثناء ذلك بأن معظم العلماء ملتزمون بشيء يشبه الموقف A وهم مستمرون في عملهم تاركين الأسئلة الكبرى للفلاسفة ورجال الدين.**

الحواشي

١- الأسئلة الكبيرة:

١- سأحصر نقاشي في الحياة كما نعرفها. إن احتمال وجود أشكال غريبة من الحياة مبنية على عناصر كيميائية أو عمليات فيزيائية أخرى مثير بالفعل لكنه تخميني تماماً. لو كانت الحياة شائعة فليس لدينا سبب للافتراض أن نمطنا من الحياة ليس نموذجياً. وسيجد القراء المهتمون بمعالجة أقل تقليدية مناقشة حديثة في كتاب بيتر وورد «الحياة كما لا نعرفها»

٢- من غير أن أعلم كان سؤال ليندزي الساذج يثار في الوقت نفسه من قبل ايوجين ويغنر أحد قادة الفيزياء النظرية في العالم.

٣- تقول مدرسة فكرية تمثل الأقلية أن هذا هراء وأن قوانين الفيزياء مجرد اختراعات بشرية بنيت لتلائم البشر ولا توجد قوانين «حقيقية» على الاطلاق. سوف أهمل هذا الموقف المعارض لأنني أعتقد أنه خاطئ تماماً ولا يستحق مناقشة جادة.

٢- شرح الكون:

١- K رمز لواحدة درجة الحرارى ويدعي كلفن. وفرق درجة حرارة كلفن يعادل فرق درجة حرارة مئوية. لكن مقياس كلفن يبدا من الصفر المطلق أو من - ٢٧٣ ° م.

٢- هذه تقريباً الحالة النهائية التي يستقر عندها نظام مغلق بحيث لا يحدث بعدها تغيير على المستوى الكبير. وبالنسبة لغاز بسيط فهي حالة من الضغط والكثافة المتجانستين.

٣- يدعى الغاز المتأين بلازما حيث تتحطم الذرات إلى الكترونات ونوى بسبب الحرارة العالية جداً. وسأصف الغاز الأولي بتفصيل أكبر في الفصل الثالث.

٤- أنتج التوزع اللاحق لل CBM من التكتلات الغازية المبكرة تأثيرات عميقة في تركيز الإشعاع. وقد اكتشفت هذه التأثيرات بواسطة ال WMAP.

٦- يشير علماء الكون أحياناً إلى «سطح التشتيت الأخير» وهو الغلاف الكروي من المادة الذي يحيط بالأرض والذي يصدر منه الإشعاع عند لحظة التحول من المعتم إلى الشفاف. يدعى هذا التحول تقنياً «فك» المادة والإشعاع.

٨- تتعقد هذه القضية بنظرية التضخم التي سأصفها في الفصل الثالث.

٩- وبالمقارنة عندما تختفي سفينة وراء الأفق لا نستنتج أن الأرض تنتهي هناك.

١٠- اقترح ألان غوث هذا المصطلح الرائع وقررت أن أتبناه هنا.

١١- ليس الزمان بعداً من أبعاد المكان وإنما هو بعد من أبعاد الزمكان.

١٢- لن ينطبق هذا لو ثبت أن النظريات حول «الأغشية branes» صحيحة.

١٣- يقلق بعض علماء الكون لأن الخصائص الأكبر الممسوحة من WMAP (تقنياً الأقطاب المتعددة الأخفض) تظهر بعض الشذوذ التي لا يتنبأ بها نموذج الانفجار الكبير التقليدي للكون. ومن المبكر جداً معرفة فيما إذا كان هذا ناتجاً عن مشاكل من الجهاز أو/ وتحليل البيانات، أو أنه يشير إلى شيء هام وغير متوقع يتعلق ببنية الكون.

١٤- لا يمكن للدقة المحدودة لهذه الملاحظات أن تقرّر أن الكون مسطح تماماً. ما تخبرنا به هو أنه لو كان الكون على شكل كرة آينشتاين الضخمة فسيكون نصف قطرها كبيراً جداً بحيث لا يمكننا ضمن حجم الفضاء الممسوح بأجهزتنا تمييز أي انحناء. وتنطبق ملاحظات مماثلة على أي انحناء سالب.

١٥- حتى لو كان الفضاء منبسطاً فلن يكون بالضرورة لا متناهياً. ذلك لأن نظرية آينشتاين لا تقول شيئاً حول طبوغرافية الفضاء. وتتعلق إحدى الطبوغرافيات الممكنة بتمييز نقاط. فكّر في صفيحة من الورق يدخل إليها جسيم من اليسار ثم يعبر الورقة ويخرج من اليمين. تصور الآن أن تلف الورقة وتلصق الحافة اليمنى واليسرى مع بعضها بعضاً. فالجسيم الذي خرج مسبقا من اليمين سيظهر الآن مجدداً من اليسار. اقترح بعض علماء الكون أن الكون يمكن أن يكون على هذا الشكل ويشبه قاعة من المرايا. لو سكنّا في كون كهذا فسيبدو لنا من الوهلة الأولى كما لو أن «قاعة المرايا» امتدت إلى ما لا نهاية ولكن مع تفحص أدق سنكتشف أن حجماً محدداً من الفضاء يكرّر نفسه كثيراً جداً. من الممكن أن يتألف الكون من خلايا ثلاثية الأبعاد تتكرر من حين لآخر وأن يلفّ الضوء الذي نعتبره قادماً من بعيد مرة أو عدة مرات مولّدا وهم المسافة. اقترحت أيضاً أشكال أكثر تعقيداً مثل المماثل ثلاثي الأبعاد لسطح كرة قدم مقطعة.

١٦ – إنني متسامح قليلاً بمصطلحاتي. فالكلمة مادة هنا تتضمن المادة المعتمة والطاقة المعتمة وهي مواضيع سأناقشها في الفصل السادس.

٣- كيف بدأ الكون :

١- لم يأت الهليوم الذي استخدم لملء المناطيد من الانفجار الكبير، ولكنه أتى من التخافت الإشعاعي لجوف الأرض.

٢- يتعلق هذا «الوسط السعيد» بحقيقة أن المكان مسطح.

٣- اخترع التضخم في البداية من قبل غوث ليحل مشكلة مختلفة – عدم وجود كميات تدعى أقطاب وحيدة مغناطيسية.

٤- تعني كلمة scalar مدرج أنه يمكن وصف الحقل ببساطة عن طريق تحديد رقم واحد (قوة الحقل) عند كل نقطة في الفضاء. بالمقابل فإن للحقل الكهربائي قوة واتجاه معاً عند كل نقطة فيه ولذا فهو حقل موجه vector. أما الثقالة فهي أكثر تعقيداً – فهي حقل مشدود tensor وهي تحتاج إلى أرقام أكثر عند كل نقطة لوصفه كاملاً.

٥- لا تخلط بين القوة الميكانيكية التي يؤثر بها الضغط والتي هي ضخمة وتتجه للخارج (على الرغم من أنها محصورة بالأرض) بقوة الثقالة التي يولّدها هذا الضغط والتي هي قوة ضئيلة و تتجه للداخل.

٦- تقاس القوة والضغط عادة بواحدات مختلفة. ولمناقشة العلاقة بين هذه الكميات عليك أن تقسم الضغط على c^2 والذي يعطيه عندئذ وحدات كثافة الطاقة نفسها. يفسر هذا القاسم الضخم لماذا تتثاقل القوة بقوة أكبر بكثير من الضغط.

٧- ميكانيكياً فإن الحقل المدرج يسحب – بشدة، وبالثقالة فهو يطرد – بلطف. وقد تتساءل لماذا إذا كان هذا الحقل المدرج يسحب بشدة فإنه لا يجذب نفسه إلى منطقة أصغر فأصغر. إنه يفعل ذلك لأنه متوزع بشكل متجانس خلال المكان، ولذا فليست هناك منطقة مميزة له ليتقلص إليها: فهو يسحب بكل اتجاه في الوقت نفسه وبالتالي فليست هناك محصلة قوة تسحبه إلى مكان محدد.

٨- هناك مع ذلك قضية أخرى حول خلق المادة تتعلق بمسالة مضاد المادة. وسوف احيل هذا التعقيد على الفصل التالي.

٩- كتبت أوصاف شائعة جيدة من قبل بعض المؤلفين إضافة إلى كتاب غوث.

١٠- خلق الجسيم عن طريق تمدد الكون هو عملية ثقالية بحبتة (وعادة ضعيفة جداً). ويجب عدم الخلط بينها وبين إنتاج الجسيم من تخافت حقل التضخم أو من الطاقة الحرارية (كما حدث عند نهاية التضخم).

١٢- في الفصل العاشر سأعتبر الفكرة التخمينية جداً حول السببية الراجعة بالنسبة للزمن حيث يمكن القول أن الانفجار الكبير نتج عن أحداث حدثت لا حقاً.

١٤- يفترض أحياناً أن حالة الكون في النموذج الدوري تعود إلى الوضع الأصلي نوعاً ما عند القفزة (تقنياً تخفّض الأنتروبي). ومع ذلك فهذه الخطوة مصطنعة. فهي إما أنها تفرض يدوياً أو أنها تتعلق بنموذج أكثر تعقيداً من النوع الذي سأشرحه في الفصل العاشر.

١٥- بالنسبة للذين يحبون الرياضيات يعطى طول بلانك بالعلاقة $(G\,h/2\pi\,c^3)^{1/2}$.

١٦- قد تتساءل لماذا كانت التأثيرات الكمومية للكهرطيسية موجودة عند أبعاد ذرية بينما يتنبأ أن التأثيرات الكمومية للثقالة هامة فقط عند حجوم أصغر بكثير. ينبع السبب جزئياً من الفارق الكبير في الشدة بين القوتين. وهو موضوع سأناقشه في الفصل القادم.

١٧- يعرف هذا تقنياً بمقترح « لا حدود».

١٨- يمكن العثور على وصف هاوكنغ في كتابه «تاريخ مختصر للزمن».

٢٠- هذا عكس غريب للوضع المعتاد في الميكانيك الكمومي. ففي الكون المتضخم تكون النتائج الأكثر وضوحاً للميكانيك الكمومي هي الأضخم في الحجم.

٢١- في هذا الصدد يذكرنا التضخم الأبدي بنظرية الحالة الثابتة القديمة في علم الكون لهويل حيث لا بداية للكون ولا نهاية له ولكن تولّد المادة باستمرار مع تمدد الكون للحفاظ على كثافة متوسطة ثابتة. لكن التضخم الأبدي يختلف عن الحالة الثابتة في أنه يتم خلق عوالم بأكملها بدلاً من جسيمات من المادة.

٢٤- هذا نوع من التبسيط. عند استخدام نظرية النسبية علينا أن نتذكر أن المسافات مثل الأزمنة ليست مطلقة ولكنها نسبية، ولذا علينا دوماً أن نحدد ظروف المراقب عند مناقشة المسافة. ومن الغريب أنه لو كان المراقب موجوداً ضمن إحدى الفقاعات (كما هو حالنا نحن ضمن الكون الجيبي) فمن الممكن لحجم الفقاعة أن يكون لا متناهياً نسبة إلى المراقب على الرغم من أنه لو نظر إليه من خارج الفقاعة فسيكون محدوداً.

٤- مم صنع الكون وكيف ينسجم مع بعضه بعضاً

١- حتى اليورانيوم يلعب دوراً في وجود الحياة على الأرض. فتخافته الإشعاعي البطيء خلال بلايين السنين يبقي جوف كوكبنا حاراً، دافعاً تيارات الحمل

التي تحرك القشرة القارية وهي عملية ضرورية لتدوير الكربون والمواد الأخرى المستخدمة للحفاظ على نظامنا البيئي.

٢- تعرف البوزيترونات الآن من خلال دورها في التصوير الطبي على شكل مسوح إصدار البوزيترونات PET

٣- تشمل مخططات التخافت هذه النيوترينوات أيضاً.

٤- عندما تتخافت الجسيمات الثقيلة إلى جسيمات أخف تظهر الطاقة - كتلة الزائدة على شكل طاقة حركية: وتخلق منتجات التخافت وهي تتحرك بسرعة عالية.

٥- لماذا التوقف هناك؟ ربما صنعت الكواركات (وربما الليبتونات أيضاً) من جسيمات أصغر والتي هي أيضاً بدورها مصنوعة من جسيمات أصغر و.... هكذا. لقد جربت مثل هذه الأفكار. لكن معظم الفيزيائيين يعتقدون بأن الكواركات والليبتونات هي المستوى السفلي بحسب تركيبات جسيم مركب. ومع ذلك فقد لا تكون الكلمة الأخيرة كما سوف أناقش في نهاية هذا الفصل.

٦- لا يزال العمل يجري لحساب كتلة النيوترينو. وتبدو أنها قريبة من الصفر كلها.

٧- إن استقرارية النيوترينو أكثر تعقيداً. فهي لا تتخافت: وبدلاً من ذلك فهي تدوّر هوياتها باستمرار بين نكهات النيوترينو المختلفة.

٨- إن كلمة نكوص مضللة قليلاً هنا، لأنه لو كانت الشحنات من إشارات متعاكسة فسيكون الانحراف نحو الداخل بدلاً من الخارج. ونتيجة لمبدأ عدم التأكد هايزنبرغ فإن انتقال العزم يمكن أن يكون سالباً في العمليات الكمومية مسبباً اهتزازاً نحو الداخل بدلاً من انحراف نحو الخارج. ومع ذلك فالصورة العامة بحسب تبادل فوتون افتراضي هو نفسه.

٩- للكلام حسابياً يكامل المرء على مدى مجموعة موزونة من الاحتمالات.

١٠- تعرف هذه العملية بنظرية التشويش.

١١- تشير هذه العبارة إلى كتلة الراحة للفوتون.

٥- إغراء التوحيد الكلي:

١- كيف يمكن لعملية تستغرق في المتوسط أطول بكثير من عمر الكون أن تظهر في تجربة: يقع الجواب في الطبيعة الاحصائية للميكانيك الكمومي. هناك احتمال معين أنه بين عدد ضخم من البروتونات (أطنان عديدة من المادة)

يتخافت بروتون أو اثنان خلال شهر مثلاً. بحث المجربون عن مثل حوادث التخافت المنعزلة العرضية هذه ولكنهم لم يروا شيئاً.

٢- من المهم فهم أن الجسيمات الصادرة من تصادمات مرتفعة الطاقة ليست مجرد عناصر من الأجسام المتصادمة. فالعديد منها تولدت من طاقة التصادم. وعلى سبيل المثال، تخلق الفيزياء بشكل روتيني أزواجاً من الالكترون – بوزيترون أو من البروتون – مضاد البروتون.

٣- إن الصلة بين لف الجسيمات والخصائص المجتمعة لمجموعات منها كما يحكمها مبدأ الاستبعاد لباولي ليست واضحة. ولها صلة بتناظرات مجردة معينة متعلقة بفكلاة اللف الكمومية.

٤- لهذا القانون الشكل العام نفسه كقانون الثاقلة كما هو مبين في الشكل ١.

٥- المصطلح التقني الذي أعطي لهذه الصعوبة هو لا عودة طبيعية.

٦- لديها شيء لتقوله حول الكون الأولي الحار جداً على الرغم من أنه ليس من المستحيل عثور علماء الكون على بعض البقايا الخيطية. ولكن لا يوجد إلى الآن دليل على أي منها.

٧- تتعقد مسألة التعددية جداً بوجود ما يدعى بالدفقات في النظرية المماثلة للخيوط في القوة الكهربائية أو المغناطيسية والتي يمكن أن تتغلغل خلال الفضاءات المضغوطة بأعداد كبيرة من الطرق المختلفة.

٨- أدخلت فكرة «النموذج الموسع للإكترون» كغشاء بصورة مدهشة في الفيزياء النظرية منذ الستينات من قبل بول ديراك. وفي الثمانينات عمم نوع الأجسام الممتدة من أوتار وأغشية على أي عدد من أبعاد أكثر والتي هي أقل من أبعاد الفضاء الذي تتحرك فيه. أصبح هذا النوع الأعرض يدعى بالp-branes.

٩- دعا بولشينسكي هذه الأغشية D-pranes ليميزها عن ال p-branes ومثل ال p-pranes يمكن تعميمها على ثلاثة أبعاد وأربعة وأكثر من ذلك.

٦- القوى المعتمة في الكون

١- أطلق مصطلح العناصر الخفيفة ليعني العناصر الأقل كتلة. وهي تشمل الديوتوريوم – والذي يعرف بشكل مشوش بالهيدروجين الثقيل.

٢- تعني الكلمة «ضخم» هنا «كتلة كبيرة » ولا تعني واسع بالمعنى الفيزيائي. ستكون ال WIMP جسيمات نقطية ولكنها بصورة منفردة تزن أكثر من أثقل الذرات.

٢- للمبدأ الأنثروبي مراجع قديمة. ويقدم جون بارو وفرانك تيبلر معالجة شاملة بمراجع عديدة في كتابهما «المبدأ الانساني الكوني».

٤- انظر على سبيل المثال كتاب بول ديفز «المعجزة الخامسة». وفي الحقيقة فالأحرى أن يحدث الانتقال بالطريقة المعاكسة – أي أن تبدأ الحياة في المريخ ثم تأتي إلى الأرض عن طريق صخور مقذوفة. وفي الطريقتين يظل المرء يتعامل مع حادثة خلق واحدة.

٥- حمّن بعض كتاب الخيال العلمي وقلة من العلماء حول نوع من الحياة تقوم على عمليات فيزيائية وكيميائية مختلفة. ومن الصحيح أنه ليس لدى العلماء فكرة واضحة حول ما هو ممكن وما هو غير ممكن. والأصعب من ذلك للتقويم هي احتمالات وجود حياة مبنية على قوانين فيزيائية مختلفة جذرياً. سأتبنى الموقف المحافظ الذي يقول أنه بغياب دليل على العكس فإن الحياة محصورة بشيء قريب مما نعرفه.

٦- سأناقش فقط حفنة من الأمثلة. وعلى القراء الذين يريدون معالجة أكثر شمولاً أن يرجعوا إلى كتاب بارو وتيبلر «المبدأ الانساني الكوني».

٧- نتيجة لذلك تطلق النيوترينوات. قيس الدفق النيوترينوي من الشمس بواسطة أجهزة حساسة جداً. وللنيوترينوات كتلة منخفضة جداً. ولو لم يكن هذا هو الحال فستعوز البروتونات الكتلة – طاقة الضرورية للتحول إلى نيوترونات داخل النجوم وبالتالي تمنع الشمس من السطوع بشكل ثابت ودعم الحياة.

١١- الكلمة ylem هي كلمة إنكليزية متوسطة وهي تعني المادة الأولية التي خلقت منها المادة. استخدم غامو الكلمة لتعني مزيجاً من البروتونات والنترونات.

١٢- التريتيوم نظير للهيدروجين بنواة تحتوي على نترونين وبروتون واحد ولذا فهو أثقل من الديوتوريوم.

١٣- يعني غامو بهذا نواة إما ببروتونين وثلاثة نترونات أو ثلاثة بروتونات ونترونين. وكما ذكرت سابقاً فإن كلا التشكيلين غير مستقرين.

١٥- الأكثر شيوعاً هو تخافت النترون إلى بروتون مع إطلاق مضاد نيوترينو. إن العملية المعاكسة التي أناقشها هنا حيث يتحول البروتون إلى نترون يمكن أن تحدث ضمن نجم ينهار داخلياً لأن حق الثقالة القوي المتولد يزود الطاقة اللازمة.

١٦- هناك طرق أخرى أقل كفاءة للنجوم لتخلص نفسها من الكربون، ولذا فليس من الواضح مدى حراجة شدة نفاعل النيوترينو لمناقشة التنغيم الجيد لهذا العنصر.

١٧- تخافت النترون عملية احصائية معرضة لتذبذب كمومي. يعرف عمر النصف على أنه متوسط الزمن اللازم لتتخافت نصف الكمية من النترونات.

١٩- هذا هو سبب خطأ النموذج – لا أعتقد أننا أخطأنا في جمعنا.

٢٠- يتطلب التضخم أن تكون الطاقة المعتمة غير مساوية للصفر في زمن قصير جداً بعد الانفجار الكبير مباشرة، لكن الفيزيائيين ظلوا يفترضون أن الطاقة المعتمة انخفضت إلى الصفر تماماً في المرحلة التي تلت التضخم.

٢٢- على مدى علمي كان سيدني كولمان من جامعة هارفارد الذي ساعد في استكشاف موضوع كسر التناظر في الكون الأولي أول من استخدم المصطلح «التثبيت الأعظم» ليصف الضغط الكبير للطاقة المعتمة.

٢٤- يعتمد تشكيل المجرات على تذبذب مقادير الكثافة الأولية والطاقة المعتمة. إنني أفترض في مناقشتي أن الأولى تبقى ثابتة بينما يسمح للثانية أن تتغير. لو سمح للمقدارين أن يتغيرا مع بعضهما بعضاً فإن التحليل سيكون أكثر تعقيداً.

٨- هل يحل كون متعدد المعضلة؟

١- كان الفرد المنعزل هو روزينثال الذي نجح في نشر ورقة علمية موثوقة. ولم يكن هذا عملاً بسيطاً في نظام ثبط بقوة أي نقاش يبتعد عن الفلسفة الماركسية في الجدلية المادية.

٢- تفترض الثوابت المختلفة التي ذكرتها قيماً رقمية تعتمد على نظام الوحدات المستخدمة للتعبير عنها. وعلى سبيل المثال فإن سرعة الضوء إما أن تكون ٣٠٠٠٠٠ كم / ثانية تقريباً أو ١٨٦٠٠٠ ميل / ثانية. ويمكن دمج الثوابت لتشكل نسباً لا بعدية هي أرقام مجردة مستقلة عن الواحدات. على سبيل المثال إذا قسم مربع شحنة الإلكترون على ثابت بلانك وسرعة الضوء فالنتاج رقم لا بعدي بقيمة قريبة من ٠,٠٠١٦١٧. وعند اعتبار فيما إذا كانت قوانين الفيزياء تحتوي متحولات حرة يمكن أن تتغير من منطقة لأخرى فمن الأفضل مناقشة التغيرات في الأرقام اللا بعدية.

٣- تقع النيوترينوات خارج هذا المخطط. وتظهر التجارب أن لها كتلة ضئيلة جداً، لكن تفسيرها يقع خارج النموذج القياسي.

٦- يمكن تشبيه هذا المثال لقاعدة الطريق. في بعض الدول يقود الناس سياراتهم على اليمين وفي أخرى على اليسار. يعتمد اختيار إحدى الطريقتين على الصدفة التاريخية. ولا يشكل هذا أي فرق ما دام كل شخص يستخدم القاعدة ذاتها.

٧- لو أجريت التجربة بدقة كبيرة فيمكن إرجاع اختيار الاتجاه للحركات العشوائية الجزيئية.

٩- أعني ب «درجة حرارة منخفضة» «وطاقة منخفضة» أنهما منخفضتان بالمقارنة مع درجة حرارة كسر التناظر وطاقته. وكما سنرى فقد يشمل هذا GUT أو حتى قيم بلانك. بإعطاء هذه المقاييس المرتفعة التي يشير إليها الفيزيائيون عادة ب «فيزياء مرتفعة الطاقة» لا تزال حقاً منخفضة الطاقة. لذا يتضمن العالم المنخفض الطاقة عالم المسرعات تحت الذرية مثل LHC والخبرة اليومية.

١٠- قد يلاحظ القارئ اليقظ أن هذا هو الوقت الذي افترض حدوث التضخم أثناءه – وهذا ليس مصادفة. كان اعتبار تطبيق ال GUT على الكون الأولي جداً هو الذي أعطى ألان غوث سيناريو الكون المتضخم لأول وهلة وفي الحقيقة فإن مرشحاً مقبولاً لحقل التضخم هو أحد حقول GUT لهيغز.

١١- في الحقيقة فقد قمت بتلفيق هذا. لا أحد يعلم لأن النظرية معقدة جداً. ولكن هناك خيارات كثيرة.

١٣- يؤسس وجود منظر على بأخذ «الزوايا» الخمسة لنظرية M التي تمثل نظريات الأوتار الخمس الأولية بعين الاعتبار والتي يمكن دراستها باستخدام طريقة تقريب تدعى نظرية الاضطراب. ويعتقد بعض المنظرين أن المنظر هو من صنع هذا التقريب، ويتنبؤون أنه لو صيغت نظرية M الكاملة المؤسسة جيداً وحلت تماماً فإنها ستعطي وصفاً بسيطاً وحيداً – عالم واحد فقط. وسيكون لدي الكثير لأقوله حول الفكرة البديلة في الفصل التاسع.

١٤- تعود الفكرة بأن التضخم الأبدي ربما يقدم آلية طبيعية لتوليد حقول كونية ضخمة (أكوان جيبية) بأنواع مختلفة جداً من فيزياء الطاقة المنخفضة وبنتائج إنسانية واضحة إلى أوائل الثمانينات.

١٥- إن النظريات التي وصفتها هنا ليست بأي حال الأفكار الوحيدة حول الكون المتعدد. جمعت قائمة بنظريات الأكوان المتعددة المختلفة من قبل نيك بوستروم في كتابه الانحياز الإنساني: الملاحظات وتأثرات الخيار.

١٨- هذا النوع من التفكير مقنع تماماً فقط لو استطاع المرء أن يعطي أوزاناً إحصائية لأكوان مختلفة، لكننا لا نعرف كيف نفعل ذلك إلى الآن. افتراض آخر هو أنه لا توجد قيمة دنيا واضحة للطاقة المعتمة تكون الحياة دونها مستحيلة ما لم يعتبر المرء قيماً سالبة. وستهدد كميات معتبرة من الطاقة المعتمة السالبة الحياة لأسباب مختلفة: فهي ستضيف للجذب الثقالي للكون وتسبب انهياراً سريعاً إلى مضغة كبيرة.

٢١- هناك أيضاً افتراض مخفي بأن النظام المعتبر له عدد مجدود وإن كان كبيراً جداً من الحالات الممكنة. هذه هي الحال بالنسبة للمتغيرات المتقطعة كما تنشأ من تطبيق الميكانيك الكمومي، ولكن ليس هناك سبب منطقي لعدم كون بعض المتغيرات الفيزيائية مستمرة. ولو كان الأمر كذلك فسيكون هناك عدد لا نهائي من «ألوان الرمادي» وستكون مسألة النسخ المتطابقة تماماً أكثر تعقيداً.

٢٣- إن الافتراض بأنه يمكن تمثيل العمليات الفيزيائية جميعها من حيث المبدأ بواسطة حاسوب عام يعتمد على الافتراض الشائع ولكن غير المبرهن الذي يدعى فرضية تشيرش – تورنغ.

٣٥- لا حاجة أن يكون النظام المحاكى حاسوباً الكترونياً. لو كان افتراض الحوسبة العامة (انظر الفقرة التالية في النص الرئيس) الذي أسس عليه هذا النقاش بأكمله صحيحاً، يمكن عندها إجراء المحاكاة باستخدام أي شيء مثل علب البيرة والأوتار أو حتى شيء ببساطة نظام كلاسيكي فوضوي ثلاثي الأبعاد والذي هو معقد بشكل غير محدود في تصرفه. يمكن للمحاكاة أن تكون أسرع أو أبطأ بكثير في وقتها من خبرتنا الموضوعية بالزمن ضمن المحاكاة.

٩- تصميم ذكي وتصميم غير ذكي تماماً

٦- يبدو أن المصطلح صيغ من قبل س، أ، كولسون في كتابه العلم والإيمان المسيحي على الرغم من أن دراموند التقط الفكرة الأساسية مسبقاً في كتابه ارتقاء الإنسان.

٨- مؤيدو التصميم الذكي غامضون بشكل مقلق (لأسباب سياسية) حول الآلية غير الداروينية التي تكتسب بواسطتها الأنظمة الفيزيائية مثل السوطيات البكتيرية

بنيتها المصممة ظاهرياً. ليس هناك داع لأن يكون هذا معجزة كأرنب يسحب من قبعة، على الرغم من أن هذا ما يفضله مؤيدو النظرية. ويمكن أن يكون هناك قانون يشبه التصميم للطبيعة يعمل على مقياس زمني تطوري. ولتأسيس معنى مثل هذا القانون من الضروري أولاً تقديم تعريف رياضي صارم للتصميم. بذلت محاولة بطولية كهذه من قبل وليام ديميسكي في كتابه «ليس هناك غداء مجاني».

٩- طرحت حجة قوية على التنظيم الذاتي في علم الحياء من قبل ستيوارت كوفمان في كتابه في المنزل من الكون.

١٠- اقترح لي سمولين نظرية تخلق فيها اليقوب السوداء «أكواناً وليدة» ترث القوانين من «أكوان الأباء» مع بعض الاختلاف العشوائي. في هذه النظرية هناك نوع من الوراثة والاختلاف ولكن لا يوجد اختيار. يمكن العثورعلى تفاصيل أكثر في كتابه الحياة في الكون.

١٤- تذكر أن المنظر ليس منطقة أو فضاءً مادياً ولكنه فضاء من الاحتمالات – فضاء المتغير. يمكن للمخلوق الفائق أو الحضارة الفائقة أن تخلق كوناً قريباً مادياً ولكنه بعيد جداً في فضاء المتغير. لو كان الكون الذي يحتوي هذا المخلوق أو الحضارة ملائماً مسبقاً للحياة فيمكننا أن نتصور إنه سيختار أن يخلق أكواناً وليدة في موقع مماثل في المنظر وذلك كي يجعل أكوانها المنتجة صالحة للحياة.

٢١- أي هل يستطيع مخلوق وجد بالضرورة جيداً بالضرورة وقوياً بالضرورة.... إلخ، وأن لا يخلق بالضرورة؟ هل يمكن لكائن بالضرورة أن يختار أن لا يخلق؟

٢٢- استخدم اسحق نيوتن الذي كتب في الإلهيات أكثر مما كتب في الفيزياء هذه الحجة. حاجج أن المكان والزمان على الأقل ضروريان لأنهما ينبثقان مباشرة من إله لازم بالضرورة. ويمكن أن يكون هذا قد أثر على نظرة نيوتن إلى الزمان والمكان على أنهما مطلقان وعامان وغير قابلين للتغيير. وبالطبع فنحن نعرف الآن أن هذا خطأ.

٢٤- لا تهتم النظرية الوحيدة بدون متحولات فيما إذا كان هناك تمثيل واحد للكون أم أكثر. لو كان هناك كثير منها فستكون في الحالة الكمومية نفسها

- حالة الفراغ الوحيد المفترض للنظرية. وبسبب صفة عدم التأكد الأصيلة في الميكانيك الكمومي فإن هذا لا يتطلب أن تكون الأكوان نسخاً مستنسخة. ولذا فحتى نظرية الكون «الفريد» المفترضة تتسق مع الشكل المحدود للكون المتعدد.

٢٥- أتت الفكرة الأصلية لهذه المقارنة من كارل ساغان الذي وصفه في روايته الاتصال. واستخدم بسياقه الحالي من قبل رودني هولدر في كتابه الله والكون المتعدد وكل شيء.

٢٦- هناك أيضاً تفسير تقني بحسب أسس الرياضيات والمنطق كي تكون نظرية نهائية وحيدة مستحيلة. ويتعلق هذا الأمر بما يعرف بنظرية عدم الاكتمال لغودل. وجزئياً بسبب اعتبار نظرية غودل دحض ستيفان هاوكنغ مؤخراً وجود نظرية وحيدة لكل شيء.

٢٨- اعتبر ليبنز الذي كان ملحداً هذه المشكلة واستنتج أن كوننا هو الأفضل من كل العوالم المحتملة (لأنه ما الذي يدعو إلهاً جيداً وتاماً لخلق شيئ أدنى منه؟) ويشير تعريف ليبنز للأفضل على أنه ليس السعادة القصوى للبشر ولكنه بشكل أكثر تجريداً التعظيم الرياضي وهو: البساطة المتسقة مع الغنى والتنوع.

٢٩- أعني أي شيء متسق ذاتياً منطقياً. فالمربع المدور على سبيل المثال لا يمكن أن يوجد في أي مكان.

٣٠- بالتأكيد لم يكن تيغمارك أول من اقترح أن كل الأكوان المحتملة توجد فعلاً. فقد اعتنقت الفكرة على سبيل المثال من قبل فيلسوف برنستون ديفيد لويس.

٣٧- ما لم يمكن اثبات وجود كائن لازم هو فريد من نوعه بالضرورة.

٣٨- على سبيل المثال، تنص إحدى البديهيات على أنه من الممكن وصل أي نقطتين في الفضاء بخط مستقيم.

٣٩- ربما كان هذا تبسيطاً. يمكن أن تكون للمرء أسباب للاعتقاد بنقطة بداية محددة. على سبيل المثال ربما يأتي الدعم لكون متعدد من دليل الاختلافات في «ثوابت» الطبيعة. وربما يأتي الدعم لوجود الله من الخبرة الدينية أو النقاشات الأخلاقية.

٤٠- أحياناً «الوحيدة فقط» ولكنني أشرت مسبقاً إلى الشك في ذاك الادعاء.

١٠- كيف حدث الوجود؟

٩- تنسب هذه العبارة إلى أطروحة تشيرش تورنغ، وهي الادعاء الذي يعرّف أساس مبدأ الحاسوب العام أو متعدد الأغراض. يقترح دويتش رفع هذه الأطروحة إلى مرتبة المبدأ الأساسي في الكون.

١٠- المثال الآخر لخاصة غير واضحة ولكنها أساسية للأنظمة الكمومية هو التشابك. وهو بقاء جسيمين أو أكثر مرتبطين بعمق على الرغم من أنهما منفصلان كثيراً.

١١- هناك دليل متزايد على أن بعض الدنا «البالية junk» على الرغم من أنها ليست جزءاً من نظام الترميز الجيني، قد تلعب مع ذلك دوراً في تشغيل الخلية.

١٢- تم التأكيد على التمييز الهام والأساسي بين مشاكل الوعي «السهلة» و«الصعبة» لأول مرة من قبل ديفيد تشالميرز في مقالته الشهيرة «مواجهة مسألة الوعي».

١٥- كما أن قطة شرودينغر تبدو ظاهرياً في حالة من «النشاط المعلق» في غياب الملاحظة، كذلك فإن الكون الكمومي ككل يبقى معلقاً في وضع فائق من «التواريخ» المتعددة جداً. ويمكن للقراء الذين يريدون معرفة أكثر حول اختفاء الزمان في الكونية الكمومية أن يعثروا على مناقشة مفصلة في كتابه نهاية الزمان.

١٩- يشير الفيزيائيون غالباً إلى هذا على أنه غاز بولتزمان على اسم لودفيغ بولتزمان الذي درس كيفية وصول الغازات إلى التوازن الثرموديناميكي.

٢٠- أشير هنا إلى الحالة الماكروية المعرّفة بالقسمة على عدد من الجزيئات، وليس إلى الحالات الميكروية حيث تحدد حركات الجزيئات المنفردة.

٢١- هذه النقطة جيداً معروفة جيداً من قبل العلماء، وأجريت محاولات لتقديم تعريف أكثر دقة للخاصة الصعبة «التعقيد المنظم» التي يبدو أنها تميز الحياة. قدم تعريف واعد من قبل تشارلز بينيت من IBM بحسب العمل الحاسوبي اللازم لوصف النظام. ويدعو بينيت هذا ب «عمق» النظام. اقترح سيث لويد وهاينز باغلز تعريفاً للعمق قريباً منه لكنه أكثر فيزيائية.

٢٥- الفكرة المثيرة للاهتمام هي نظرية جيا حول الحياة على الأرض والتي تقول بأن بيئة كوكبنا وجيولوجيته ومناخه تشكل نظاماً بتغذية راجعة إيجابية ديناميكي تتعاون فيه الأرض والغلاف الحيوي بطريقة ما لاستمرار الحياة.

مثال على ذلك التعويضات في التغيرات المناخية استجابة للتغيرات الخارجية مثل التغيرات الشمسية. وتبدو نظرية جيا بشكلها الشائع غائية بالتأكيد – فالغلاف الحيوي للأرض يستجيب للتهديدات الداخلية والخارجية لتأمين مستقبل الأرض – وقد انتقدت النظرية على أنها كذلك.

٣٢- ليس هذا مجرد ظهور قوانين فعالة منخفضة الطاقة بواسطة كسر التناظر كما نوقش في الفصل الثامن. يقترح ويلر أن القوانين جميعها تنشأ من الفوضى بعد نشأة الكون.

٣٥- هذه عبارة عامة ولكن عملياً تحدد الأجزاء عن طريق الميكانيك الكمومي على شكل أجوبة منفصلة على شكل نعم/لا مثل فيما إذا كان لف الإلكترون نحو الأعلى أم الأسفل.

٣٦- جون ويلر في منزلنا في الكون. أجريت محاولة لبناء الفيزياء جميعها من المعلومات من قبل ر.ب ز روي فريدن في كتابه الفيزياء من معلومات فيشر.

٤٠- قد تكون هناك مع ذلك حالات تشمل أنظمة معقدة حيث يكون الحد $١٠^{١٢٠}$ مهماً.

٤٢-اقترح بينيوف معياراً للاتساق هو أن على النظرية أن تصف بشكل أعظمي صحتها الذاتية و قوتها الكافية.

٤٨- يمكن حني أشعة الضوء من قبل حواجز مادية مثل حواف شق. ولذا لا تسافر دوماً في خطوط مستقيمة تماماً.

٤٩- يتطلب الميكانيك الكمومي أن يكون للجسيمات جميعها طبيعة موجية. أجريت تجربة الشقين على سبيل المثال بنجاح على الإلكترونات.

٥٠- يستغرق الفوتون في تجربة مخبرية عملية بضع نانو ثانية فقط للعبور من الشق إلى اللوحة ولا يستطيع أي مجرب بشري أن يتخذ قراراً محوماً بدقة بحيث يحدث بعد عبور الفوتون الشق ولكن قبل أن يصل إلى اللوحة. لكن هذه مراوغة ثانوية. يمكن للمرء من حيث المبدأ أن يجعل المسافة إلى لوحة الصورة بالطول الذي يشاء.

٥٢-هناك الكثير من التعديلات الجيدة على هذا السيناريو والعديد من التجارب الفعلية بما فيها تلك التي يصنع فيها الشريك سجلاً ثم يمحوه. وفي الحالات كلها لا يمكن إعادة أية معلومات في الزمن المناسب بواسطة هذا النوع من الترتيب.

٥٣- تأتي طريقة طبيعية لاعتبار تجربة الخيار المؤجل مما يدعى التفسير التحليلي للميكانيك الكمومي لجون كريمر من جامعة واشنطن. الفكرة الرئيسة هي أن الحادث الكمومي مثل تشتيت اللإلكترون وتخافت الذرة يتطلب عمليات تتجه للأمام والخلف في الزمن بسرعة الضوء. لو طبق التفسير التحليلي على الكون ككل فربم قدم وصفاً متسقاً. والتحدي عندئذ سيكون إثبات أن هذا الوصف فريد.

٥٥- ينعكس مفهوم الدارة التي تفسر نفسها في الرمز السحري القديم للأوروبوروس الممثل على شكل ثعبان يأكل ذنبه

٦٦- لدى علماء آخرين أفكار مماثلة. على سبيل المثال استنتج فرد هويل بأن الكون يرى على شكل دارة متصلة لا يمكن الخروج منها.... كل شيء يوجد بسبب كل شيء آخر.

٦٧- وصل ويلر إلى موقف مماثل. أكد ويلر بأن نتائج الملاحظات الكمومية لابد أن تعني شيئاً قبل أن يمكن القول بأن الكون تحقق بالكامل في «دارة المعنى» حيث ينشئ العالم المادي «عملية الملاحظة» و«المعنى» بينما ينشئ الملاحظون والمعنى العالم المادي.

٧٠- تلعب التقاليد في الثقافة البشرية الدور نفسه الذي تلعبه الجينات في علم الوراثة. قد تكون على سبيل المثال عادات وأزياء وأنظمة اعتقاد. تتكاثر التقاليد وتنتشر وتتنافس ضمن المجتمع.

خاتمة: تفسيرات نهائية

٣- نعم بحسب الفيلسوف جون ليزلي الذي تزعم نظرية وجود الكون لأنه «جيد» أن يوجد – وهي فكرة تعود إلى أفلاطون. ويبرز التحدي في إقناع الفيزيائيين أن لل «المتطلبات الأخلاقية» قوة غير رسمية

المحتويات

الصفحة

التعريف بالمترجم

- الدكتور سعد الدين خرفان من مواليد حمص ١٩٤٦.
- حصل على الإجازة في الهندسة الكيميائية من جامعة ليذر ببريطانية عام ١٩٦٩. والماجستير في الهايدروكربونات من جامعة مانشستر عام ١٩٧٠.
- عمل في وزارة النفط والثروة المعدنية مهندساً من عام ١٩٧٠-١٩٧٣.
- حصل على الدكتوراه في هندسة المفاعلات من جامعة نيوكاستل في بريطانية عام ١٩٧٦ وعيّن مدرساً في المعهد العالي للهندسة الكيميائية والبترولية عام ١٩٧٧.
- يعمل حالياً أستاذاً في الهندسة الكيميائية في جامعة البعث كما عمل مديراً للبحوث في هيئة الطاقة الذرية.
- شارك في العديد من المؤتمرات العلمية والفكرية وله العديد من البحوث المنشورة في المجلات المحلية والأجنبية.
- ألف وترجم العديد من الكتب العلمية والفكرية منها: تغير المناخ ومستقبل الطاقة، رؤى مستقبلية، الله والعقل والكون، البوذية، من أجل البقاء أحياء.

الطبعة الأولى / ٢٠١١
عدد الطبع ١٠٠٠نسخة



ألف كتاب الجائزة الكونية الكبرى: لماذا الكون مناسب للحياة؟
(Cosmic Jackpot: why our unverse is just right for life?)
عام ٢٠٠٧ من قبل العالم البريطاني المعروف بول ديفيز. يحاول الكتاب الجواب على السؤال الرئيس: لماذا وجد الكون على هذه الصورة؟ ولماذا كان ملائماً بالضبط لظهور الحياة بأشكالها المختلفة؟ ويستعرض الكاتب النظريات المتعددة التي تحاول الإجابة عن هذا السؤال بدءاً بنظرية الانفجار الكبير ثم نظرية التضخم ونظرية تمدد الكون ثم يسأل لماذا كانت قوانين الفيزياء ملائمة للحياة؟ ماذا لو تغيرت هذه القوانين؟ لماذا كان الكون مكتوباً بشفرة رياضية دقيقة وموجزة؟ ثم يستعرض القوى الرئيسة مثل قوة الثاقلة وقوة الكهرطيسية والقوة النووية الضعيفة والقوة النووية القوية وإمكانية توحيد هذه القوى بقوة واحدة عن طريق نظرية الأوتار الفائقة أو نظرية لكل شيء؟ هل حدث هذا كله نتيجة صدفة كونية عجيبة؟ أم أن هناك مصمماً؟ ما الدليل على وجود هذا المصمم؟

والمؤلف بول ديفيز من مواليد بريطانيا ١٩٤٦ وهو فيزيائي ومؤلف ومذيع ويعمل حالياً أستاذاً في جامعة أريزونا ومديراً لمركز المبادئ الأساسية في العلم. يختص بالبحث في علم الكون ونظرية الحقل الكمومي والفلك الحيوي. ألف أكثر من ٢٠ كتاباً ترجمت إلى العديد من اللغات منها: الله والعقل والكون والعوالم الأخرى وحافة اللانهاية والكون الصدفة والأوتار الفائقة (نظرية كل شيء) والمخطط الكوني...... وغيرها.





www.syrbook. gov.sy
مطابع وزارة الثقافة - الهيئة العامة السورية للكتاب - ٢٠١١م

سعر النسخة ٢٦٠ ل.س أو ما يعادلها